سلسلة هندسة الإتصالات (١)

مبادىء الإتصالات



م. ريم مصطفى الدبس

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

مبادئ الاتصالات

سلسلة هندسة الاتصالات (1)

مبادئ الاتصالات

م. ريم مصطفى الدبس

الطبعة الأولى
2004 م

مكتبة المجتمع العربي للنشر

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2003/11/2405)

621.382
الدبس، ريم مصطفى
مبادئ الإتصالات/ ريم مصطفى الدبس.ـ عمان: مكتبة المجتمع العربي، 2003.
(   ) ص

ر. إ. : 2003/11/2405 .
الواصفات:/الإتصالات/

* تم إعداد بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية.

الطبعة الأولى
2004م – 1424هـ

مكتبة المجتمع العربي للنشر
عمان – شارع الملك حسين – مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس 4632739 ص.ب. 4244 عمان 11121 الأردن

الفهرس

الوحدة الأولى

مبادئ الاتصالات

الوحدة الأولى: مبادئ الاتصالات

1-1 تعريف الاتصال

إن إجراء مكالمة تليفونية أو إرسال رسالة بالبريد أو الاستماع إلى خطبة أو إرسال البحارة إشارات ضوئية في السماء لطلب النجدة كلها أمثلة على الاتصال. وفي حياتنا اليومية أمثلة لا حصر لها على الاتصال، ولكن ما يهم دراستنا الاتصالات ذات التكنولوجيا العالية والمتطورة.

يتضح من الأمثلة المذكورة أن كلمة الاتصال شاملة لكل طرق التواصل والتعامل سواء كان متطور أو بدائي، فيمكن إعطاء تعريف عام للاتصال بأنه "نقل معلومة من نقطة تسمى المرسلة (Transmitter) إلى نقطة أخرى تسمى مستقبلة (Receiver) عبر وسط ناقل".

فالمتصل بالهاتف يعد مرسل والشخص على الطرف الثاني من الخط يعد مستقبل وأسلاك الهاتف هي الوسط الناقل للمعلومة. والبحار يعد مرسل للمعلومة التي تكون على شكل طلقة نارية في الهواء يستقبلها بحار آخر ويفهم الإشارة على أنها طلب للنجدة وهكذا يحدث اتصال بين الطرفين.

وما يهمنا في هذا الكتاب هو توضيح مبادئ الاتصالات وكيفية نقل الإشارة واستقبالها والشروط الواجب توافرها لنجاح عملية الاتصال، ولكن أولا علينا معرفة التطور التاريخي لأنظمة الاتصالات.

2-1 التطور التاريخي لأنظمة الاتصالات

كانت وسائل الاتصال في السابق بدائية جدا. وإن أول وسيلة للاتصال هي باستخدام الإنسان لصوته أولأصوات الحيوانات لتداول المعلومات ضمن

مسافات معينة، ولكن لأن المدى الذي يصله صوت الإنسان ليس كبير بسبب ضعف الموجة الصوتية فكان من الضرورة ابتكار أشكال أخرى للاتصال كاستخدام العدائيين لنقل الأخبار من مكان إلى آخر كما فعل اليونانيون القدامى واستخدام النار والدخان والطبل والأعلام كإشارات بين الناس بينهم مسافات بعيدة نسبيا.

وفي عام 1835 بدأ صامويل مورس تجاربه مع التلغراف. وبعد سنتين بدأ التعامل بالتلغراف في الولايات المتحدة الأمريكية والذي يعد أول استعمال للإشارات الكهربائية والتي هي أشبه بمعلومات مشفرة، وقد تطورت هذه الوسيلة بالتطور خلال الحرب العالمية الأولى والثانية واستخدم المقسم العسكري في الجيش البريطاني. ومن ثم تطورت عمليات الاتصال باستخدام المبرقات وغيرها.

في عام 1876 اخترع غراهام بيل جهاز التليفون والذي كان يمكّن في البداية أشخاص موجودون في مكانين متقاربين من التحدث مع بعضهم البعض إلى أن تطور إلى الشكل المألوف لدينا في الوقت الحالي.

في عام 1910 بدأت تجارب البث الإذاعي في أمريكا وقد تم أول بث للعموم عام 1920. أما البث التليفزيوني فقد بدا للعموم بعد ذلك بسبع سنوات (عام 1927) في انجلترا.

بدأت اتصالات الأقمار الصناعية عام 1960 والتي أصبحت متداولة بعد هذا التاريخ بوقت ليس بقليل.

وكانت بداية ثورة الاتصالات الحاسوبية (Computer Communication) عام 1970.

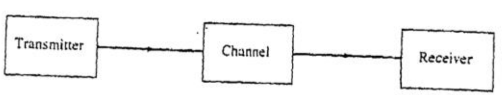
إن التطور في عالم الاتصالات لا يقف عند حد وهنالك جديد كل يوم ولكن تبقى المبادئ التي تقوم على أساسها ثابتة وهي موضوع دراستنا هنا.

ومما يجدر التنويه إليه أن أهم حدث في تاريخ الاتصالات كان اختراع الترانزيستور، الذي يدخل في تركيب معظم الدوائر الكهربائية وخاصة التي تدخل في تركيب المرسلات والمستقبلات.

3-1 المخطط الصندوقي العام لأنظمة الاتصالات

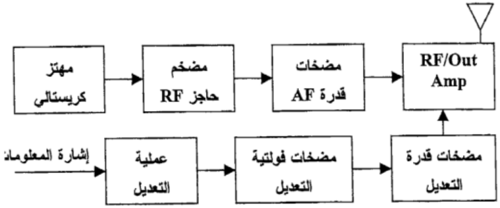
إن مصطلح "نظام System" يقصد به كلا من الإشارات (Signals) والأجهزة أوالدوائر (Circuits). وإن الأجهزة المستخدمة في أي نظام تتناسب مع نوعية الإشارات المراد إرسالها. وعلى الرغم من تنوع أنظمة الاتصالات إلا إن المخطط الصندوقي(Block Diagram) العام لها يبقى واحد، ويتكون نظام الاتصال العام من ثلاثة أجزاء والتي نستطيع استنباطهم من التعريف العام للاتصال، وهي:

1. المرسلة (Transmitter)
2. الوسط الناقل (Channel)
3. المستقبلة (Receiver)



1-3-1 المرسلات (Transmitter)

المقصود بالمرسلة مجموعة الدوائر المسؤولة عن تجهيز الإشارة لتصبح جاهزة للإرسال بالصورة المناسبة التي تتيح للمستقبلة فهم هذه الإشارة بأحسن وجه والتي تتكون أساسا من المعدّل ومجموعة مكبرات وهوائي وغيرها. وهنالك عدة أنواع من المرسلات، والمخطط العام للمرسلة يختلف باختلاف نوع التعديل (Modulation) المستخدم مثل AM وFM (سوف نتطرق لهذا الموضوع بالتفصيل). والمخطط الصندوقي لمرسلة راديوية نموذجية هو:

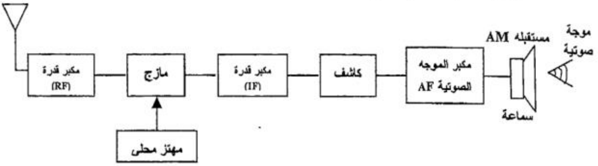


2-3-1 الوسط الناقل (Medium)

هو الوسط الذي تنتقل خلاله المعلومات (الإشارات) من المرسلة إلى المستقبلة، وقد يكون هذا الوسط الفراغ أو الهواء أو الأسلاك أو غير ذلك. وهنالك أنواع مختلفة من الأسلاك ويتلاءم كل نوع منها مع نظام معين من أنظمة الاتصال، ولكل منها مواصفات معينة من حيث السرعة والجودة والتكلفة ومادة التصنيع وأشهر هذه الأنواع في الوقت الحالي هي الألياف الضوئية المميزة بالسرعة العالية.

3-3-1 المستقبلات (Receiver)

في الجهة المقابلة من المرسلات نجد المستقبلات، وهي مجموعة الدوائر المسؤولة عن التقاط الإشارات المطلوبة وتنقيتها للحصول على أفضل عينة. وشرط أساسي في المستقبلة أن تتوافق مع نوع التعديل المستخدم في المرسلة. وتتكون المستقبلة بشكل أساسي من هوائي ومصافي ومعدل عكسي (يتناسب مع نوع المعدل المستخدم في المرسلة) ومجموعة مكبرات وغيرها. والمخطط الصندوقي العام للمستقبلة هو:



4-1 أنواع الإشارات

عندما نتحدث عن أنظمة الاتصالات الحديثة فليس المقصود بالإشارات في هذه الحالة الرسائل البريدية أو الطلقات النارية لطلب النجدة وإنما إشارات كهربائية (فولتية أو تيار).

وهكذا عندما نريد إرسال إشارة صوتية أو مرئية أو غيرها، نحولها أولا إلى إشارة كهربائية كي نتمكن من التعامل معها.مثلا الميكرفون يحول الموجة الصوتية إلى كهربائية والكاميرا تحول الصورة إلى إشارة كهربائية. ولذلك نجد دائما في المرحلة النهائية من المستقبلات محول للإشارة الكهربائية إلى أحد الصور الفيزيائية. فالسماعة تحول الإشارة الكهربائية إلى موجة صوتية والشاشة تعرض الإشارة الكهربائية على هيئة صورة مرئية.....الخ.

يتم تصنيف الإشارات المستخدمة في نظم الاتصالات بناءا على أسس عديدة منها:

1. طبيعة توليد الإشارة، فقد تنشأ الإشارة عن صوت أو صورة أو غير ذلك.
2. كيفية تغيرها مع الزمن. مثلا بعض الإشارات تتكرر كل فترة زمنية معينة وبعضها لا، بعضها يتغير مع الزمن(AC) وبعضها يبقى ثابتا (DC).
3. مقدار محتوياتها من الطاقة(Power) أوالقدرة (Energy)، والتي يمكن حسابها من الإشارة (التي تمثل تيار أوفولتية كما ذكرنا سابقا).

وبناءا على الأسس المذكورة يمكن أن نميز عدة أنواع من الإشارات ذات أهمية في أنظمة الاتصالات، من أهمها:

1-4-1 الإشارات المقررة أو المحددة (Deterministic Signals): هي الإشارات التي يمكن معرفتها بصورة كاملة ويمكن التعبير عنها كاقتران رياضي متغير مع الزمن.

مثال: الإشارة المحددة التالية $X(t) = A\cos(\omega t + \theta)$ تأخذ شكل إشارة جيبية متغيرة مع الزمن ويمكن معرفة القيمة اللحظية لها ببساطة، فإذا فرضنا قيمة $\omega=20$ وقيمة $\theta=0$ و $A=5$ أصبح شكل العلاقة كالتالي:

$$X(t)= 5\cos(20t)$$

وعند اللحظة $t=0$ sec يمكن حساب قيمة الإشارة على النحو التالي:

$$X(0)= 5\cos(0) = 5 \text{ volt}$$

2-4-1 الإشارات العشوائية (Random Signals): هي الإشارات التي تتغير قيمتها بصورة عشوائية مع الزمن ولا يمكن معرفة قيمة دقيقة لها كما لا يمكن التعبير عنها بصورة اقتران رياضي، وهنا تكمن صعوبة التعامل مع هذا النوع من الإشارات. ومثال على هذه الإشارات الضجيج (Noise) والذي يوجد

أنواع مختلفة منه مثل الضجيج الحراري (Thermal Noise) والضجيج الأبيض (White Noise) وغيرها.

1-4-3 الإشارات الدورية (Periodic Signals):هي الإشارات التي تتكرر صفاتها مع الزمن بحيث تعيد الإشارة نفسها كل فترة زمنية معينة ويمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$X(t \pm mT) = X(t)$$

m :عدد صحيح

T: زمن الدورة الواحدة (Period) وهو الزمن الذي تعيد فيه الإشارة نفسها بعد مروره وهو يتناسب تناسب عكسي مباشر مع تردد الإشارة (Frequency)

$$T= 1/f$$

F: عدد الذبذبات في الثانية الواحدة (التردد) ووحدته الهرتز Hz

مثال: احسب التردد وزمن الدورة الواحدة للإشارة التالية: $X(t) = 2\cos(628t)$

$$f = \omega/2*\pi = 628/2*\pi = 100 \text{ Hz}$$

$$T = 1/f= 1/100 = 0.01 = 10 \text{ msec}$$

1-4-4 الإشارات اللادورية (A periodic Signals): وهي الإشارات التي لا تكرر نفسها مع الزمن ولا تحقق معادلة الإشارات الدورية، لكن لا مانع من أن تأخذ شكل اقتران رياضي (لكن ليس اقتران جيبي).

مثال: $X(t) = \sqrt{3}t + 5t^3$

<u>1-5 وسائل نقل الإشارة ومواصفاتها من حيث المدى المرسل</u>

مهما اختلفت الأوساط الناقلة للإشارة يبقى التصنيف الأساسي لنقلها بطريقتين: سلكي ولاسلكي.

1-5-1 النقل السلكي: يتم الربط بين المرسلة والمستقبلة بواسطة سلك. ويوجد أنواع مختلفة من الأسلاك المستخدمة منها الألياف الضوئية (Fiber Optics) والكوأكسيل كيبل وغيرها. ويعتمد مدى الإرسال على طول السلك وعلى قدرة أو طاقة الإشارة المرسلة. مثلا عند ربط جهازي هاتف في موقعين مختلفين يجب استخدام سلك ذو طول ونوعية مناسبين لهذه المهمة كما يجب أن تكون الإشارة المرسلة ذات قدرة كافية لوصولها بشكل واضح إلى المستقبلة.

ومن أنظمة الاتصالات التي تستخدم أسلوب النقل السلكي التليفون والحاسب الآلي.

2-5-1 النقل اللاسلكي: يتم تحويل الإشارة الكهربائية إلى موجة كهرومغناطيسية بواسطة هوائي المرسلة وتنتشر هذه الموجة في الهواء بين المرسلة والمستقبلة التي تحول هذه الموجة إلى إشارة كهربائية مرة أخرى بواسطة هوائي المستقبلة. وتعتمد مواصفات الإشارة على نوعية الهوائي وارتفاعه عن سطح الأرض وعلى التردد المستخدم.

إن مدى الإرسال اللاسلكي أكبر بكثير من مدى الإرسال السلكي سواء تم بشكل مباشر بين الهوائيين أو بشكل غير مباشر (انعكاس الأمواج عن طبقات الجو أو استخدام الأقمار الصناعية).

ومن أنظمة الاتصالات التي تستخدم أسلوب النقل اللاسلكي الإذاعة والتليفزيون والخلوي.

6-1 الطيف الترددي لخدمات الاتصال (Spectrum)

عند التحدث عن الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات فان المهم هو تردد الإشارة(frequency). وقد قسمت الترددات إلى حزم حسب مستواها وميّزت استخدامات معينة لكل حزمة. وفيما يلي جدول يبين أهم هذه الحزم الترددية المستخدمة في أنظمة الاتصالات واستخداماتها الرئيسية:

	الحزمة	التردد	طول الموجة	الاستعمال الرئيسي
1	الترددات الواطئة جدا Very Low Frequency (VLF)	3 - 30KHz	100 - 10Km	تلغراف البحرية
2	الترددات الواطئة Low Frequency (LF)	30-300KHz	10 - 1Km	تلغراف البحرية
3	الترددات المتوسطة Medium Frequency (MF)	0.3-3MHz	1- 0.1Km	الإبحار، إذاعات (منطقة)
4	الترددات العالية High Frequency (HF)	3 - 30MHz	100 - 10m	استعمال مدني وعسكري (من منطقة لمنطقة)، إذاعات
5	الترددات العالية جدا Very High Frequency (VHF)	30 - 300MHz	10 - 1m	استعمال مدني وعسكري (من منطقة منطقة)، إذاعات
6	الترددات الفائقة Ultra High Frequency (UHF)	0.3 - 3GHz	1 - 0.1m	رادار لمدى طويل
7	الترددات الفائقة جدا Super High Frequency(SHF)	3 - 30GHz	10 - 1cm	رادار، أقمار صناعية

إن الطول الموجي يتناسب تناسب عكسي مع التردد المستخدم (ولهذه الخاصية فائدة سيتم التطرق لها في الوحدات القادمة). ويتم حساب الطول الموجي بناء على العلاقة التالية:

طول الموجة (λ) = سرعة انتشار الموجة \ تردد الموجة

**سرعة انتشار الموجة = سرعة الضوء = $3*10^8$ م/ث

مثال: احسب الطول الموجي لموجة ترددها 3GHz.

$$\Lambda = C/F = 3*10^8 / 3*10^6 = 100 \text{ m}$$

7-1 أسس ومبادئ الإشارات الصوتية والصوت البشري

إن الإشارات الصوتية المختلفة ومنها الصوت البشري ذات ترددات منخفضة (300 Hz - 4KHz) وليس لها المقدرة على الانتشار لمسافات طويلة. لذلك لا يتم إرسالها مباشرة من المرسلة إلى المستقبلة وإنما تحمّل أولا على إشارات ذات تردد عالي(إشارة حاملة) في المرسلة (عملية التعديل)، ثم تحول إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر بواسطة الهوائي. ويقوم هوائي المستقبلة بالتقاط هذه الموجات وتحويلها إلى إشارة كهربائية مرة أخرى ومن ثم فصل الإشارة الصوتية المرغوبة عن الإشارة الحاملة (عملية التعديل العكسي).

8-1 الإشارات التلغرافية

الإشارات التلغرافية هي عبارة عن ترتيب خاص للعناصر الكودية يستعمل في نظام تشفير معين لتمثيل رمز مفرد أو قيمة مفردة. وتستعمل الحزم الترددية الواطئة(LF) والواطئة جدا(VLF) لهذا النوع من الإشارات.

9-1 الإشارات التلفزيونية

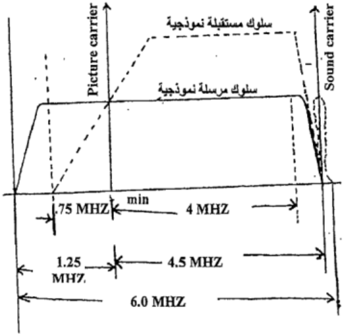
الإشارات التلفزيونية أساسا إشارات مرئية ولكنها مصحوبة غالبا بإشارات صوتية. وتستعمل في هذه الإشارات الحزم الترددية العالية جدا (VHF) والترددات الفائقة (UHF). حيث تحمّل إشارة الصورة على تردد وتحمّل إشارة الصوت المصاحبة لها على تردد آخر (يزيد عنها بمقدار 4.5MHz). وهذا سبب الظاهرة التي نلاحظها في التلفاز وهي سماع الصوت قبل رؤية الصورة.

وكنا سابقا نسمع مصطلح "تلفزيون أبيض وأسود" لعدم إرسال إشارة اللون، أما الآن يتم إرسال اللون على تردد آخر.

والترددات المخصصة للإرسال التلفزيوني هي:

VHF: 54 -88 MHz , 174 - 216 MHz
UHF: 470 - 638 MHz

ويخصص لكل قناة تلفزيونية حزمة ترددية ذات عرض 6MHz موضحة بالشكل التالي:



مثال1: قناة تلفزيونية ترسل إشارة الصورة على تردد 475MHz ،فما التردد الذي تحمّل عليه إشارة الصوت؟

$$F_{SOUND} = F_{SIGHT} + 4.5 = 475 + 4.5 = 479.5\ MHz$$

مثال2: قناة تلفزيونية تشغل الحيز الترددي (60-66MHz) . احسب قيمة التردد الحامل للصورة والتردد الحامل للصوت.

$$F_{SOUND} = 60 + 5.75 = 65.75\ MHz$$

$$F_{SIGHT} = 60 + 1.25 = 61.25\ MHz$$

أسئلة آخر الفصل

س1) لماذا يعد الترانزيستور أهم حدث في تاريخ الاتصالات؟

س2) عدد أنظمة الاتصالات التي تتعامل معها بشكل يومي ،مبينا المرسل والمستقبل والوسط الناقل لكل منها.

س3) احسب قيمة الإشارة التالية عند اللحظة: $t = 0sec, t = 0.1sec, t = 0.2sec$

$$Y(t) = 2\sin(200t + 30°)$$

س4) احسب الزمن الدوري والتردد لكل من الإشارات التالية:

1. $X(t) = 10\sin(2\pi * 10^3 t)$
2. $Y(t) = 2\cos(628t) + 3\cos(314t)$
3. $S(t) = 20\cos^2(500t)$

س5) احسب الطول الموجي لحزمة الترددات (EHF) ذات المدى الترددي 30 -300GHz .

س6) وضح بالرسم جميع القيم المهمة للقناة التلفزيونية ذات النطاق الترددي (80 - 86MHz).

س7) احسب قيمة التردد الحامل للصورة لقناة تلفزيونية ذات تردد حامل للصوت يساوي $F_{SOUND} = 630MHz$. ما عرض الحزمة لهذه القناة التلفزيونية.

س8) ما العدد الأقصى للقنوات التلفزيونية التي يمكن إرسالها على حزمة الترددات الفائقة (UHF) المخصصة للإرسال التلفزيوني.على فرض عدم وجود مسافات فارغة بين القنوات المتجاورة.

الوحدة الثانية

وحدات قياس النقل

الوحدة الثانية: وحدات قياس النقل

2-1 قياس الإشارات الدورية

إن الإشارات التي نتعامل معها في دراستنا هي الإشارات الدورية (إشارات جيبية تحديدا حيث أنّ الإشارات الدورية يمكن التعبير عنها بشكل إشارات جيبية). لكن يجب أولا مراجعة بعض المصطلحات المهمة للعلاقة الجيبية، وهي: الاتساع، التردد والطور.

الاتساع (Amplitude): هو أكبر قيمة تصلها الإشارة بعيدا عن مركزها (الصفر).

التردد (Frequency): عدد ذبذبات أو اهتزازات الإشارة في الثانية الواحدة ووحدته الهرتز Hz.

الطور(Phase) : هي الزاوية التي تتقدم أو تتأخر بها الإشارة عن الإشارة المرجعية.

مثال: ما قيمة الاتساع و التردد والطور والسرعة الزاويّة للإشارة الجيبية التالية التي تمثل الفولتية:

$$X(t) = 10 \sin(628t + 15°)$$

$A = 10\ V_P$

$F = 628/2*3.14 = 100\ Hz$

$\Theta = 15°$

$\Omega = 628\ rad/sec$

عند حساب الاتساع يجب الإشارة إلى الوحدة المستخدمة، فيمكن أن يقاس الاتساع للقمة الواحدة (V_p)، أو يقاس من القمة العليا إلى القمة السفلى (V_{p-p}) ،أو يقاس بالقيمة الفعالة (V_{rms}).

$$V_{p-p} = 2 * V_p$$
$$V_{rms} = 2 * V_p/\sqrt{2} = V_{p-p}/\sqrt{2}$$

ففي المثال السابق يمكن حساب الاتساع بالمقاييس الثلاثة على النحو التالي:

$$V_p = 10\ V$$
$$V_{p-p} = 2 * V_p = 20\ V$$
$$V_{rms} = 0.707 * V_{p-p} = 14.14\ V$$

2-2 القدرة Power

إن الإشارات الدورية هي إشارات قدرة، ويعتمد حساب قدرة إشارة على معرفة ما تمثله تلك الإشارة (فولتية أم تيار). ووحدة قياس القدرة هي الواط (Watt). وقانون حساب القدرة هو:

$$P = V^2 / R = I^2 * R$$

الفولتية أو التيار في القانون أعلاه محسوب بالقيمة الفعالة(V_{rms}, I_{rms}). ونستنتج أن القدرة ذات علاقة باتساع الإشارة وليس التردد أو الطور.

3-2 الكسب Gain والفقد Loss

المقصود بالكسب الزيادة في القدرة الناتج عن الزيادة في اتساع الإشارة. ومن جهة أخرى فان الفقد هو النقصان في القدرة الناتج عن انخفاض اتساع الإشارة.

تحتوي أنظمة الاتصالات على دوائر كهربائية عديدة تعمل على زيادة أو نقصان اتساع الإشارة التي تمر من خلالها. ومن الضروري الحصول على نظام قياس يمكّننا من تقييم مدى الكسب أو الفقد الناتج عن أي من هذه الدوائر أومن مجموعة من الدوائر مجتمعة سويا.

2-4 وحدات قياس الكسب والفقد المستعملة

هنالك العديد من الطرق التي تعطينا تعريف بمدى الكسب أو الفقد الناتج عن دائرة ما. بعض هذه الطرق:

أ. تمثيل فقد أو كسب القدرة بالواط (watt). وذلك بحساب الفرق بين القدرة الخارجة من الدائرة والقدرة الداخلة إليها:

$$G = P_o - P_{in}$$

مثال: احسب الكسب أو الفقد في القدرة إشارة إذا كانت قدرة الإشارة الداخلة 30w وقيمة القدرة الخارجة 20w.

$$G = P_o - P_{in} = 20 - 30 = -10 \text{ watt}$$

الإشارة السالبة دلالة على أنّ الحالة هنا فقد وليس كسب للقدرة وهذا بديهي حيث أن القدرة الخارجة أقل من القدرة الداخلة للدائرة.

ب. تمثيل الفقد أو الكسب بالنسبة بين القدرة الداخلة والقدرة الخارجة:

$$G = P_o / P_{in}$$

في هذه الحالة إذا كانت قيمة الكسر أكبر من 1 فهنالك كسب للقدرة، وإذا كانت قيمة الكسر أقل من 1 فهي حالة فقد للقدرة.

ج. تمثيل الكسب أو الفقد بلوغاريتم نسبة القدرة الخارجة إلى القدرة الداخلة. وتدعى الوحدة المستخدمة "البل"، وهذه أفضل الطرق المستخدمة لحساب الكسب والفقد للقدرة حيث تناسب تمثيل القيم الصغيرة والكبير والتي نواجهها عادة في الإرسال.

$$G = \log (P_o / P_{in})$$

2-4-1 الديسيبل

إن وحدة القياس الأساسية التي تمثل الفقد أو الكسب في أجهزة الإرسال هي البل BEL نسبة للعالم A. G. BEL.

$$G_{BEL} = \text{Log}(P_o / P_{in})$$

فعندما تكون القدرة الخارجة من الدائرة أكبر عشرة أضعاف القدرة الداخلة إليها فهذا يعني كسب مقداره 1Bel فقط. أما إذا كانت القدرة الخارجة من الدائرة اقل عشرة أضعاف القدرة الداخلة إليها فهذا يعني كسب مقداره 1 Bel- أو بمعنى آخر فقد مقداره 1 Bel.

نميز 3 حالات عند استخدام الطريقة اللوغاريتمية هي:

1. أن تكون القدرة الخارجة أكبر من القدرة الداخلة إلى الدائرة فهي حالة كسب وقيمة الكسب G_{BEL} موجبة.
2. أن تكون القدرة الخارجة أكبر من القدرة الداخلة إلى الدائرة فهي حالة كسب وقيمة الكسب G_{BEL} موجبة
3. أن تكون القدرة الخارجة مساوية للقدرة الداخلة إلى الدائرة فان قيمة G_{BEL} تساوي صفر.

وجد عمليا أن قيمة الـــ BEL كبيرة جدا بالنسبة لمعظم التطبيقات العملية وأن القيمة العملية المناسبة هي الديسيبل (Decibel) ويرمز لها بالرمز dB.

والديسيبل لا يستخدم فقط لكسب وفقد القدرة وإنما أيضا الكسب والفقد في الفولتية أو التيار.

أ. **<u>حساب فقد القدرة وكسبها بالديسيبل</u>**

عند الحساب بوحدة الديسيبل يعدّل القانون السابق كما يلي:

$$G_{dB} = 10\ Log(P_o / P_{in})$$

هذا القانون يطبق لحساب الكسب أو الفقد لدائرة واحدة فقط، أما إذا كان النظام مكون من عدة دوائر متتالية فان الكسب يحسب لكل دائرة منفصلة أولا ثم يتم جمع كسب الدوائر للحصول على الكسب الكلي.

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \ + \ + G_n$$

مثال1: ما مقدار الكسب أو الفقد لدائرة إذا كانت القدرة الداخلة تساوي 1w والقدرة الخارجة 0.1w ؟

$$G_{dB} = 10\ Log(P_o/P_{in}) = 10\ Log(0.1/1) = -10\ dB$$

مرة أخرى نجد الإشارة السالبة في الجواب دلالة على حدوث فقد وليس كسب.

مثال2: إذا كان كسب دائرة كهربائية يساوي 3dB وكانت القدرة الداخلة تساوي 10mw، فما قيمة القدرة الخارجة من هذه الدائرة؟

$$G_{dB} = 10\ Log(P_o/P_{in})$$

$$3 = 10\ Log(\ P_o/10)$$

$$P_o/10 = \ Log^{-1}(0.3)\ = 2$$

$$P_o = 10 * 2 = 20 \text{ mw}$$

مثال3: ما مقدار الكسب الكلي (أو الفقد الكلي) لنظام مكون من دائرتين متتاليتين إذا كانت القدرة الداخلة إلى الدائرة الأولى 1w والخارجة منها (وبالتالي هي الداخلة إلى الدائرة الثانية) تساوي 0.1w والقدرة الخارجة من الدائرة الثانية 0.001w ؟

نستطيع حل هذا المثال بطريقتين:

الطريقة الأولى: حساب الكسب الكلي مباشرة من القدرة الداخلة والقدرة الخارجة للنظام كله:

$$G_{dB} = 10 \text{ Log}(P_o/P_{in}) = 10 \text{ Log}(0.001/1) = -30 \text{ dB}$$

الطريقة الثانية: حساب الكسب (أو الفقد) لكل دائرة ثم جمع القيمتين:

$$G_{dB1} = 10 \text{ Log}(P_o/P_{in}) = 10 \text{ Log}(0.1/1) = -10 \text{ dB}$$

$$G_{dB2} = 10 \text{ Log}(P_o/P_{in}) = 10 \text{ Log}(0.001/0.1) = -20 \text{ dB}$$

$$G_T = G_{dB1} + G_{dB2} = (-10) + (-20) = -30 \text{ dB}$$

نجد أن قيمة الكسب الكلي المحسوب بالطريقتين متطابق.

ب. <u>حساب فقد وكسب التيار أو الجهد بالديسيبل</u>

يمكن استعمال الديسيبل كوحدة لقياس الفقد أو الكسب للتيار أو الجهد (الفولتية)، وذلك بالاستفادة من العلاقة التي تربط القدرة بالتيار والفولتية:

$$P = V^2/R = I^2 * R$$

$$G_{dB} = 10 \text{ Log}(P_o/P_{in}) = 10 \text{ Log}((V_o^2/R_o)/(V_{in}^2/R_{in}))$$

$$\text{If } R_o = R_{in}$$

$$G_{dB} = 10 \text{ Log}(V_o^2 / V_{in}^2) = 20 \text{ Log}(V_o/V_{in})$$

وبنفس الطريقة نحصل على العلاقة بين الكسب والتيار:

$$G_{dB} = 10\,Log(I_o^2 / I_{in}^2) = 20\,Log(I_o/I_{in})$$

نلاحظ أنه عند الحديث عن كسب (أو فقد) دائرة فهو نفسه سواء كانت الحسابات للقدرة أو الجهد أو التيار، أي إذا كان كسب دائرة كهربائية 2dB فهذا يعني أن كسب القدرة 2dB وكسب الجهد والتيار أيضا 2dB.

مثال1: إذا كان الجهد الداخل لمكبّر 0.1V والجهد الخارج 2V، احسب مقدار الكسب للدائرة على أساس أن المقاومة الداخلة والخارجة متساويتين.

$$G_{dB} = 20\,Log(V_o/V_{in}) = 20\,Log(\,2/0.1) = 26\text{ dB}$$

مثال2: إذا كان التيار الداخل للمكبّر المذكور في السابق يساوي 2mA فما قيمة التيار الخارج منه؟

$$G_{dB} = 20\,Log(I_o/I_{in})$$
$$26 = 20\,Log(\,I_o/\,0.02)$$
$$I_o/\,0.02 = Log^{-1}(1.3) = 20$$
$$I_o = 0.4\text{ A} = 40\text{ mA}$$

مثال3: إذا كانت القدرة الخارجة من المكبّر المذكور في المثالين (1 و 2) تساوي 50w فما قيمة القدرة الداخلة إليه؟

$$G_{dB} = 10\,Log(P_o/P_{in})$$
$$26 = 10\,Log(\,50/\,P_{in})$$
$$P_{in} = 50/\,Log^{-1}(2.6) = 0.13\text{w}$$

2-4-2 مستوى القدرة المطلقة "dBm"

إن استعمال وحدة الديسبل يكون لقياس نسبة القدرة (نسبة القدرة الخارجة إلى القدرة الداخلة) أو معدل القدرة وليس وحدة لقياس القدرة المطلقة.

وعندما نحدد الفقد أو الكسب في دائرة بالديسيبل لا تعطي أي إشارة لقيمة القدرة الداخلة أو القدرة الخارجة للدائرة. فإذا كان كسب دائرة كهربائية 1dB فهذا يعطينا معلومة أن القدرة الخارجة عشرة أضعاف القدرة الداخلة بغض النظر عن القيمة الفعلية لهذه القدرة الداخلة.

ولتبسيط حسابات وقياسات الإرسال تمثّل القدرة بوحدة القدرة المطلقة dBm وبنفس الطريقة اللوغاريتمية بالنسبة إلى مرجع مستوى القدرة المحدد (1mwatt):

$$(\text{مستوى القدرة})_{dBm} = 10\ \text{Log}(\text{Power in mw}/1\text{mw})$$

وهكذا تحدد وحدة dBm مستوى القدرة (الداخلة أو الخارجة لدائرة) بينما تعطينا وحدة الديسيبل قيمة الكسب أو الفقد للدائرة نفسها.

ومرة أخرى بسبب استعمال الطريقة اللوغاريتمية نستطيع أن نميز 3 حالات لحساب مستوى القدرة المطلقة:

1. إذا كان مستوى القدرة المقاس يساوي 1mw فان dBm يساوي صفر.
2. إذا كان مستوى القدرة المقاس أكبر من 1mw فان dBm يشار له بقيمة موجبة.

مثال: احسب مستوى القدرة بوحدة الـــdBm لقدرة قيمتها 20mw.

$$(\text{مستوى القدرة})_{dBm} = 10\ \text{Log}(\text{Power in mw}/1\text{mw}) = 10\ \text{Log}(20/1) = 13\ \text{dBm}$$

3. إذا كان مستوى القدرة المقاس أقل من 1mw فان dBm يشار له بقيمة سالبة.

مثال: : احسب مستوى القدرة بوحدة الـــ dBm لقدرة قيمتها 0.1mw

$_{dBm} = 10\ Log(Power\ in\ mw/1mw) = 10\ Log(0.1/1) =$
-10 dBm(مستوى القدرة)

نلاحظ أن حساب القدرة المطلقة dBm لا يعتمد على كسب الدائرة أو قيمة مقاومتها ولكنها تسهل حسابات الدائرة. فعندما تكون كل من القدرة الداخلة الى الدائرة والقدرة الخارجة منها ممثلة بالقدرة المطلقة dBm يمكن حساب كسب (أو فقد) الدائرة بسهولة بحساب الفرق بينهما:

$$G_{dB} = dBm_o - dBm_{in}$$

أي أن :

كسب الدائرة (أو فقدها) = مستوى القدرة الخارجة – مستوى القدرة الداخلة

مثال1: إذا كان مستوى الإشارة الداخلة على دائرة مكبّر تساوي $P_{in}= 2$ dBm ومستوى الإشارة الخارجة يساوي $P_o= 4$dBm ، فما مقدار كسب ذلك المكبر ؟

$$G_{dB} = dBm_o - dBm_{in} = 4 - 2 = 2\ dB$$

مثال2: إذا كان مقدار كسب دائرة كهربائية 10dB ومستوى القدرة الداخلة يساوي P_{in} = 7dBm فما مستوى القدرة الخارجة؟ وما قيمة القدرة الخارجة بالواط؟

$$dBm_o = G_{dB} - dBm_{in} = 10 - 7 = 3\ dBm$$
$$= 10\ Log(Power\ in\ mw/1mw)$$
$$P = 1mw * Log^{-1}(0.3) = 2\ mw$$

2-4-3 مستوى الفولتية "dBr"

طريقة أخرى لقياس مستوى الإشارة هو قياس مستوى الفولتية "dBr" ، وعلينا اختيار قيمة المقاومة للدائرة عند النقطة المراد قياس الفولتية عندها.وتعد القيمة الثابتة المعيارية للترددات الصوتية $R=600\Omega$. بمعنى آخر إذا كان لدينا دائرة قيمة مقاومة ما لها يساوي $R= 600\Omega$ فهذا يعني أن مستوى الفولتية مساوي لمستوى القدرة عند تلك النقطة (Identical).

كما أن المستوى المرجعي لقياس مستوى القدرة dBm محدد (1mw)، يجب أن نحدد قيمة الفولتية المرجعية لحساب مستوى الفولتية dBr :

$$P = V^2 / R$$

$$V_{ref} = \sqrt{P*R} = \sqrt{1mw*600} = 0.775\ V$$

نستطيع حساب مستوى فولتية إشارة عند نقطة معينة على النحو التالي:

$$(\text{مستوى الفولتية})_{dBr} = 20\ Log\ (V / 0.775)$$

مثال: احسب مستوى فولتية اشارة dBr اذا كانت قيمة الفولتية يساوي 50mV .

$$(\text{مستوى الفولتية})_{dBr} = 20\ Log\ (V / 0.775) = 20\ Log(0.05 / 0.775) = -23.8\ dBr$$

العلاقة بين مستوى الفولتية dBr ومستوى القدرة dBm

ذكرنا سابقا أن مستوى القدرة dBm لنقطة يساوي مستوى الفولتية dBr لها إذا كانت ممانعة تلك النقطة $R= 600\Omega$. ولكن لإيجاد العلاقة العامة بين مستوى القدرة ومستوى الفولتية (مهما كانت قيمة المقاومة)، يجب الرجوع للمعادلة الأصلية وسنجد أن:

$$(\text{مستوى القدرة})_{dBm} = 10\ Log(P/\ 0.001) = 10\ Log((V^2/Z)/0.001)$$

$$= 10\ Log\ ((V^2/Z)/(0.775^2/600))$$

$$= 10\ Log((\ V/0.775)^2 * (600/Z))$$

$$= 10\ Log(V/0.775)^2 + 10\ Log(600/Z)$$

$$= 20\ Log(V/0.775) + 10\ Log(600/Z)$$

$$= (\text{مستوى الفولتية})_{dBr} + 10\ Log(600/Z)$$

$$dBm = dBr\ + K$$

أي أن:

مستوى القدرة (dBm) = مستوى الفولتية (dBr) + 10 Log(600/Z)

حيث: Z هي ممانعة الدائرة عند النقطة المقاس عندها مستوى الإشارة.

مثال1: أثبت أن مستوى القدرة dBm يساوي مستوى الفولتية dBr إذا كانت مقاومة الدائرة R=600Ω .

مستوى القدرة (dBm) = مستوى الفولتية(dBr) + 10 Log(600/Z)

= مستوى الفولتية(dBr) + 10 Log(600/600)

= مستوى الفولتية (dBr) + 0 = مستوى الفولتية (dBr)

مثال2: إذا كان مستوى الفولتية dBr الداخلة إلى دائرة يساوي 30dBr، احسب قيمة مستوى القدرة dBm إذا كانت الممانعة تساوي:

R1= 60Ω ; R2= 600 Ω ; R3= 6000 Ω

$$dBm1 = dBr + 10\ Log(600/60) = 30 + 10 = 40\ dBm$$

$$dBm2 = dBr + 10\ Log(600/600) = 30 + 0 = 30\ dBm$$

$$dBm3 = dBr + 10\ Log(600/6000) = 30 - 10 = 20\ dBm$$

مثال3: إذا كان مستوى الفولتية يساوي 4dBr ومستوى القدرة يساوي -2dBm، فما قيمة ممانعة الدائرة؟

$$dBm = dBr + 10\ Log(600/Z)$$

$$-2 = 4 + 10\ Log(600/Z)$$

$$600/Z = Log^{-1}(-0.6) = 0.25$$

$$Z = 600/0.25 = 2389\Omega$$

مثال4: الإشارة الداخلة إلى مكبّر لها العلاقة الجيبية التالية $X(t) = 2\sin(200t)$، والإشارة الخارجة $Y(t)=4\sin(200t + 20°)$ ، ومقاومة مدخل الدائرة $R= 2K\Omega$ احسب كل مما يأتي:

1. مستوى القدرة للإشارة الداخلة.
2. مستوى الفولتية للإشارة الداخلة.
3. كسب أو فقد الدائرة على فرض أن مقاومة المدخل والمخرج متساويتان.

الحل:

$$1.\ P_{in} = V_{in}^2/R = (0.707 * 2)^2 / 2000 = 1mw$$

$$dBm_{in} = 10\ Log(1mw/1mw) = 0\ dBm$$

$$2.\ dBr_{in} = 20\ Log((0.707*2)/0.775) = 5.23\ dBr$$

$$3.\ G_{dB} = 20\ Log(V_o/V_{in}) = 20\ Log(4/2) = 6\ dB$$

مرة أخرى نؤكد أن حساب الكسب أو الفقد يكون للدائرة نفسها، أما حساب المستوى (قدرة أو فولتية) يكون للإشارة سواء الداخلة إلى الدائرة أو الخارجة منها.

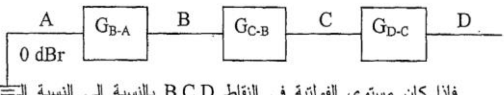
2-4-4 مستوى المرجع dBr

مستوى المرجع: هو المستوى في نقطة واحدة في الدائرة مقارنة بالمستوى لنفس الإشارة في نقطة أخرى في نفس الدائرة تسمى "نقطة المرجع" أو "نقطة مستوى المرجع الصفري" أي " Point of Zero Relative Level".

والفائدة من أخذ المستويات في نقاط الدائرة المختلفة نسبة إلى مستوى المرجع هو تسهيل حساب الكسب أو الفقد لأي جزء من تلك الدائرة.

ملاحظة: أن مستوى الفولتية لنقطة بالنسبة إلى مرجع لا يمثّل مستوى الفولتية الحقيقي لتلك النقطة.

مثال: في النظام التالي اعتبرنا النقطة A هي نقطة المرجع وبالتالي مستوى الفولتية عندها يساوي 0dBr ، ولا يفترض أن تكون نقطة المرجع في بداية النظام ولكن يمكن أن تكون أي نقطة في النظام.



فإذا كان مستوى الفولتية في النقاط B,C,D بالنسبة إلى النسبة إلى النقطة A هو 10,-5,12 dBr- على الترتيب، فان من السهل حساب الكسب أو الفقد لكل دائرة بين أي نقطتين في النظام :

$$G_{C\text{-}B} = dBr_C - dBr_B = (-5) - (-10) = 5 \text{ dB}$$

$$G_{D\text{-}C} = dBr_D - dBr_C = 12 - (-5) = 17 \text{ dB}$$

$$G_{D\text{-}B} = dBr_D - dBr_B = (12) - (-10) = 22 \text{ dB}$$

أو

$$: G_{D\text{-}B} = G_{D\text{-}C} + G_{C\text{-}B} = 17 + 5 = 22 \text{ dB}$$

2-4-5 مستوى القدرة النسبي dBmo

في أنظمة الاتصالات يقوم المرسل بإرسال الإشارات المطلوبة أو المرغوبة (Desired Signal) كالإشارة الصوتية أو المرئية أو غيرها، ولكن يرافق هذه الإشارات إرسال إشارات أخرى ضرورية، ومن الأمثلة على هذه الإشارات إشارة الدليل (Pilots) أو التأشير (Signaling)، أو إشارات غير مرغوبة مثل التشويش (Noise) أو تداخل الكلام (Cross Talk).

ولا بد من وسيلة للمقارنة بين الإشارة.الأساسية وأي من هذه الإشارات (الظواهر)، ولهذا الغرض نستخدم المصطلح dBmo. على سبيل المثال إذا كان مستوى التشويش 3dBmo- فهذا يعني أن مستوى القدرة لهذا التشويش يساوي 3dBm- عند نقطة المرجع 0dBr.

ومن البديهي بما أن الإشارة المرغوبة تكون مصحوبة بالإشارات المذكورة الأخرى فعندما تمر خلال إحدى الدوائر فإنها تتعرض لنفس التأثير. فعند مرور الإشارة الصوتية خلال مكبّر وتعرضت لكسب مقداره 20dB فهذا يعني بالضرورة تكبير إشارة الدليل والتشويش وغيرها من الإشارات المصاحبة بنفس مقدار الكسب 20dB لمرورها من نفس المكبّر، فيبقى الفرق بين مستوى الإشارة ومستوى الدليل مثلا بنفس القيمة.

وبصورة عامة عند نقطة المستوى النسبي L dBr حيث أن أي ظاهرة لها مستوى قدرة مطلقة Y dBm، فان مستواها X dBmo يعطى بالعلاقة التالية:

$$X\ dBmo = Y\ dBm - L\ dBr$$

مثال1: إذا كان المستوى النسبي للقدرة يساوي 3dBr- وكان مستوى القدرة المطلقة للتشويش 12dBm- ومستوى القدرة المطلقة للدليل 2dBm ، فاحسب مستوى القدرة النسبي لكل منهما.

لإشارة التشويش:

$$X\ dBmo = Y\ dBm - L\ dBr = (-12) - (-3) = -9\ dBmo$$

لإشارة الدليل:

$$X\ dBmo = Y\ dBm - L\ dBr = (2) - (-3) = 5\ dBmo$$

مثال2: إشارة صوتية ضخمت بمقدار 10dB بواسطة مضخّم، فإذا كان مستوى القدرة النسبي لإشارة التأشير المصاحب لتلك الإشارة الصوتية 6dBmo فكم تصبح قيمة المستوى لها بعد الخروج من ذلك المكبر؟

الحل: إن إشارة التأشير تمر بنفس المكبر الذي تمر منه الإشارة الصوتية وبالتالي تتعرض لنفس التكبير 10dB وبالتالي فان قيمة المستوى النسبي لها بعد الخروج من المكبر تساوي:

$$X\ dBmo_{(output)} = X\ dBmo_{(iput)} + G = 6 + 10 = 16\ dBmo$$

5-2 تضخيم الإشارة Amplification of Signal

التضخيم : هو عملية تكبير للإشارة وذلك بزيادة اتساعها مما يؤدي إلى زيادة القدرة والمستوى لتلك الإشارة. والجهاز الذي يقوم بعملية التكبير هو المضخّم (Amplifier) والذي يتكون أساسا من الترانزيستور وتختلف نسبة التكبير اعتمادا على أسلوب تركيب الترانزيستور(CE, CC,CB) وعلى قيم المكونات المصاحبة له (مقاومات وغيره).

في أنظمة الاتصالات نسعى لوصول الإشارة المرسلة بشكل واضح إلى المستقبل، ومن المتوقع أن تتعرض الإشارة إلى تضعيف في قيمتها خلال المراحل المختلفة للإرسال لذلك يجب عكس هذا التأثير باستخدام المضخّمات في المراحل المختلفة سواء في المرسل أو المستقبل. وإذا أردنا الحصول على كسب عالي نقوم بربط عدد من المكبرات على التوالي حيث يكون الكسب الكلي هو حاصل جمع كسب كل دائرة سوية. ونستطيع حساب الكسب للقدرة أو التيار أو الفولتية بالطرق التي سبق ذكرها.

مثال: إذا علمنا أن الإشارة الصوتية المرسلة تتعرض لتضعيف أثناء الإرسال بمقدار 30dB وكان مقدار الكسب من المكبرات المستخدمة في النظام فقط 25dB فما قيمة كسب المكبر الذي يجب تصميمه في هذه الحالة لإلغاء تأثير ذلك التضعيف؟ وكيف يتم توصيله مع باقي المكبرات؟

يجب توصيل المكبر الإضافي على التوالي للحصول على الكسب اللازم. قيمة الكسب الذي يجب أن يوفرها ذلك المكبر تساوي:

التضعيف = الكسب

$$30 = 25 + G$$

$$G = 30 - 25 = 5dB$$

6-2 تضعيف الإشارة (Attenuation of Signal)

على عكس التضخيم هنالك التضعيف، وهو نقصان في اتساع الإشارة المرسلة مما يؤدي إلى تخفيض المستوى والقدرة. وعلى اعتبار أن الإشارة هي أحد أنواع الطاقة فعندما يتم نقل الإشارة عبر خطوط الإرسال فان الطاقة تتبدد قبل أن تصل إلى نقطة الاستقبال.

وتتبدد هذه الطاقة بطرق عدة منها:

1. فقد الإشعاع Radiation Losses : وهو الضياع في طاقة الموجة الكهرومغناطيسية المرسلة عبر الهوائي في الهواء.
2. حرارة التوصيل Conductor Heating : وهو الفقدان في طاقة الإشارة الكهربائية وتحولها إلى شكل آخر من الطاقة هو"الحرارة"، والناتج عن الموصلات الموجودة في الدائرة.
3. حرارة العازل Insulator Heating : وهو الفقدان في طاقة الإشارة الكهربائية وتحولها إلى شكل آخر من الطاقة هو"الحرارة"، والناتج عن العوازل الموجودة في الدائرة.

والأنواع المذكورة غير مرغوب ولا يمكن التحكم بها، ولكن يوجد في بعض الأحيان فقد صناعي Artificial Losses تسببه الفحمات أو المضعفات التي توضع في الدائرة لتضعيف الإشارة بشكل مقصود لأسباب معينة منها

1. القياس: عندما تكون حدود أجهزة القياس أصغر من الإشارات التي نتعامل معها نحتاج لإضعافها .
2. المزج: تتطلب بعض عمليات التعديل حدود معينة لقيمة (اتساع) الإشارة فنضطر إلى إضعافها إذا كانت الإشارة أكبر من القيمة المحددة.
3. مستوى التحكم.

وينتج التضعيف بسبب المقاومات بحيث يمكن أن يكون التضعيف (أو التوهين) ثابت أو متغير بجعل المقاومة ثابتة أو مقاومة متغيرة (Potentiometer) .

2-7 توليد الإشارة وإرسالها

تتكون عملية الإرسال من مراحل متعددة، مراحل في المرسلة (Transmitter) وأخرى في المستقبلة (Receiver) . بالنسبة للمرسلة أول مرحلة تشمل تحويل الإشارة الفيزيائية (صوت أو صورة) القادمة من المصدر إلى إشـــارة كهربائية بواسطة الجهاز المحوّل المناسب (ميكرفون أو كاميرا). تتبع ذلك مرحـــلة تكبيـــر للإشـــارة (Amplification). ثم مرحـــلة التعـــديل "Modulation" (تحميل الإشارة ذات التردد المنخفض على إشارة أخرى ذات تردد عالي لنتمكن من إرسالها مسافات كبيرة). ثم تمر الإشارة المعدلة الناتجة بمرحلة تكبير أخرى قبل إرسالها عبر الهوائي (Antenna) وتحويلها إلى موجة كهرومغناطيسية.

ومن الجهة الأخرى في المستقبلة، يقوم هوائي المستقبلة بالتقاط الموجة الكهرومغناطيسية "RF" وتحويلها إلى إشارة كهربائية معدلة مرة أخرى، تليها مرحلة تكبير ثم عملية عكس التعديل للحصول على الإشارة الكهربائية المطلوبة "AF". ونحتاج مرحلة تكبير أخرى قبل إدخال الإشارة على الجهاز الضروري للحصول على الإشارة الفيزيائية الأصلية (سماعة "Speaker" أو شاشة عرض "Monitor"). والمقصود بـــ

"Radio Frequency wave "RF : هي الموجة المعدلة ذات التردد العالي.

"Audio Frequency "AF : هي الموجة الصوتية ذات التردد المنخفض.

أسئلة آخر الفصل

س1) حدّد قيمة الاتساع والتردد والطور لكل من الإشارات الجيبية التالية:

1. $X(t) = 2 \sin(1000t)$
2. $Y(t) = 2 \cos(6280t + 30°)$
3. $Z(t) = -5 \sin(100t)$
4. $X(t) = 10 \sin^2(200t + 10°)$
5. $Y(t) = 20 \cos(314t - 60°)$

س2) احسب قيمة الاتساع بالقياسات الثلاثة VP, VP-P, Vrms لكل إشارة في السؤال الأول.

س3) احسب قيمة القدرة (power) لكل إشارة في السؤال الأول إذا كانت قيمة المقاومة:

1. $R = 100\Omega$ 2. $R = 250\Omega$ 3. $R = 600\Omega$

س4) ما الوحدة لكل طريقة من الطرق الثلاث لحساب الكسب؟

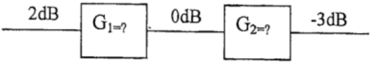
س5) احسب بالواط مقدار الكسب أوالفقد في كل من الحالات التالية مبينا نوع الحالة (كسب أم فقد):

1. قدرة الإشارة الداخلة إلى الدائرة 20w وقدرة الإشارة الخارجة منها 60w.
2. قدرة الإشارة الداخلة إلى الدائرة 12w وقدرة الإشارة الخارجة منها 6w.
3. قدرة الإشارة الداخلة إلى الدائرة 20w وقدرة الإشارة الخارجة منها 20w.

س6) أعد حساب الكسب أو الفقد في السؤال 5 بطريقة النسبة.

س7) أعد حساب الكسب أو الفقد في السؤال 5 بالطريقة اللوغاريتمية.

س8) جزء من نظام اتصالات مكون من دائرتين كهربائيتين متتاليتين قدرة الإشارة الداخلة على الدائرة الأولى يساوي 2dB والخارجة من الدائرة الأولى (الداخلة إلى الدائرة الثانية) يساوي 0dB وقدرة الإشارة الخارجة من الدائرة الثانية 3dB-. احسب مقدار الكسب أو الفقد لكل من الدائرة الأولى والثانية، ومقدار الكسب أو الفقد الكلي للنظام.



س9) في إحدى المستقبلات تم قياس القيم التالية لدائرتين متتاليتين: قدرة الإشارة الداخلة إلى الدائرة الأولى 20dB وفقد الدائرة الثانية 2dB- وقدرة الإشارة الخارجة من الدائرة الثانية 6dB. احسب :

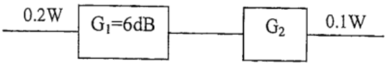
1. الكسب الكلي للدائرتين سويا.
2. كسب الدائرة الأولى.
3. قدرة الإشارة الخارجة من الدائرة الأولى.
4. إذا كنا نحتاج إلى رفع قدرة الإشارة إلى 3dB، فما الجهاز الضروري لذلك وكيف يتم توصيله مع الدائرتين وما مقدار الكسب أو الفقد المطلوب من ذلك الجهاز.

س10) إذا كان كسب التيار في أحد الدوائر يساوي 6dB وتيار المدخل 1mA فكم يساوي تيار المخرج؟

س11) ما مقدار القدرة التي تعطي مستوى قدرة مطلقة يساوي 13dBm- ؟

س12) إذا كان مستوى القدرة عند مخرج مضخم يساوي 14dBm- ومقدار مستوى الجهد عند مدخل المضخم يساوي 10dBr- وكسب جهد المضخم يساوي 10dB- فما قيمة ممانعة المخرج؟

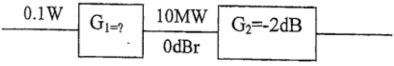
س13) للنظام الموضح في الشكل التالي:



إذا كانت قيمة قدرة الإشارة الصوتية الداخلة 0.2w وقدرة الإشارة الخارجة 0.1w . احسب:

1. مقدار الكسب أو الفقد في الدائرة الثانية G2.
2. مستوى القدرة بـــ dBm للقدرة الخارجة.
3. مستوى الفولتية بـــ dBr عند مخرج كل دائرة.
4. قيمة ممانعة دائرة المخرج.

س14) للنظام الموضح في الشكل التالي:



1. احسب كسب أوفقد الدائرة الأولى.

2. احسب قيمة الفولتية عند مدخل الدائرة الأولى.

3. احسب ممانعة دائرة المخرج.

س15) : إذا كان مقدار كسب دائرة كهربائية 10dB- ومستوى القدرة الداخلة يساوي $Pin = 0.5dBm$ فما مستوى القدرة الخارجة؟ وما قيمة القدرة الخارجة بالواط؟

س16) الإشارة الصوتية الداخلة إلى مكبّر لها العلاقة الجيبية التالية $X(t) =$ $12cos(600t)$، والإشارة الخارجة $Y(t)=4cos(600t - 120°)$ ، ومقاومة مدخل الدائرة $R= 8K\Omega$ احسب كل مما يأتي:

1. مستوى القدرة للإشارة الداخلة dBm.

2. مستوى الفولتية للإشارة الداخلة dBr.

3. كسب أو فقد الدائرة على فرض أن مقاومة المدخل والمخرج متساويتان.

4. إذا كنا نرغب تضعيف الإشارة الخارجة لغرض المزج بحيث نخفض الاتساع إلى $2V_p$ ، فما قيمة الفقد في المضعف الواجب تركيبه؟

س17) لماذا لا يعد تضعيف الإشارة المرسلة أمر مرغوب في أنظمة الاتصالات؟

س18) ما مراحل إرسال واستقبال الإشارة التليفزيونية؟

الوحدة الثالثة

التعديل السعوي

Amplitude Modulation

الوحدة الثالثة: التعديل السعوي Amplitude Modulation

1-3 مبدأ التعديل Principle of Modulation

علمنا أنه في أنظمة الاتصالات يقوم المرسل بإرسال الإشارات المرغوبة (المعلومات)، بالشكل الذي يضمن وصولها بشكل جيد الى المستقبل. ويكون المرسل بالتأكيد على مسافة بعيدة من المرسل "وإلا فلا فائدة حقيقية من أنظمة الاتصالات فعليا". ولكن هذه الإشارات الصوتية المطلوب نقلها ذات ترددات منخفضة، فليس لها القدرة على الانتقال لمسافات طويلة فهي تتلاشى قبل الوصول لنقطة الاستقبال.

وكان الحل لهذه المشكلة "عملية التعديل"، حيث يتم تحميل إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض (محمولة) على إشارة أخرى ذات تردد عالي (حاملة "Carrier"). وكأننا نستعمل الإشارة الحاملة كوسيلة مواصلات تؤمن وصول الإشارة المحمولة (المعلومة) النقطة البعيدة.

2-3 التعديل Modulation

التعديل هو الإجراء الذي يتم فيه تغيير (تعديل) في إحدى خصائص الإشارة الحاملة ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية للإشارة المحمولة ذات التردد المنخفض المحدودة النطاق.

أو بكلمات أخرى هي الإجراء التحويلي لإشارة المعلومات من مستوى الترددات المنخفض إلى مستوى الترددات العالي، وبمعنى آخر التعديل هو عملية إزاحة للإشارة إلى منطقة الترددات العالية.

المقصود بخصائص الموجة الحاملة (الاتساع، التردد، الصفحة "أو للطور"). وبناء على ذلك يوجد ثلاثة أنواع من التعديل هي:

- ✓ إذا كان اتساع الإشارة الحاملة يتغير تبعا للقيمة اللحظية لإشارة المعلومات المحمولة، فهذا النوع يدعى " التعــديل الســعوي" أو " Amplitude Modulation" .
- ✓ إذا كان تردد الإشارة الحاملة يتغير تبعا للقيمة اللحظية لإشارة المعلومات المحمولة، فهذا النوع يدعى " التعديل الترددي" أو" Frequency Modulation" .
- ✓ إذا كان طور الإشارة الحاملة يتغير تبعا للقيمة اللحظية لإشارة المعلومات المحمولة، فهذا النوع يدعى " التعديل الطوري" أو" Phase Modulation" .

كل هذه الأنواع من التعديل تندرج تحت صنف التعديل القياسي Analog Modulation.

ملاحظة: كل من النوعين FM وPM تدعى التعديل الزاوي Angle Modulation، لأن الإشارة المحمولة تسبب تغيير في زاوية الإشارة الحاملة.

3-3 أسباب استخدام التعديل في أنظمة الاتصالات

في أنظمة الاتصالات نحتاج لإجراء عملية التعديل لعدة أسباب نوضحها من خلال النقاط التالية:

1. استخدام هوائي بطول مناسب: يقوم الهوائي بالتقاط الإشارات، ويتناسب طول الهوائي تناسب عكسي مع تردد الإشارة المستعمل في الإرسال وبالتالي طرديا مع الطول الموجي للإشارة. فلوأرسلت

الإشارة الصوتية مباشرة بدون تعديل فهذا يعني تردد منخفض وبالتالي هوائي ذو طول كبير يتناسب مع الطول الموجي للإشارة والذي يساوي (C/F). وكما نعلم أن الشارات الصوتية ذات ترددات (20Hz - 20KHz)، وبالتالي لالتقاط هذه الإشارة نحتاج إلى هوائي يتناسب طوله مع الطول الموجي لهذه الإشارة والذي يساوي:

$$\Lambda = c/f = 3*10^8 / 20*10^3 = 15\ \text{Km}$$

وهو طول كبير جدا ليس قابل للتطبيق العملي سواء للمرسلات أو للمستقبلات.

2. استخدام هوائي ثابت الطول: مرة أخرى نرجع إلى تذكر قيمة ترددات الإشارة الصوتية والتي تتراوح بين(20Hz - 20KHz). وطول الهوائي يجب أن يتناسب مع كل هذه الترددات، فإذا تم إرسال الإشارة مباشرة بدون تعديل فيجب أن يتناسب طول الهوائي مع مدى الترددات (20Hz -20KHz) فستكون النسبة بين أقل وأكبر طول للهوائي: 1000:1، أما إذا عدلت بإشارة ذات تردد 1MHz فان مدى الترددات يصبح (1.000020Mhz - 1.02MHz) فتكون النسبة بين أقل وأكبر طول للهوائي (1:1.02) وهي نسبة قليلة فيمكن استخدام هوائي بطول ثابت.

3. استخدام الإرسال المتعدد القنوات "Multiplexing" :أي أن نتمكن من إرسال أكثر من قناة (بمعنى آخر أكثر من موجة محمولة) في نفس الوقت. فالإشارات الصوتية كلها لها نفس التردد فإذا أردنا إرسال أكثر من إشارة في نفس الوقت بدون تعديل فان هذه الإشارات سوف تتداخل مع بعضها البعض.ولكن إذا تم تعديل

(إزاحة التردد) كل إشارة بتردد مختلف فيمكن عندئذ إرسال أكثر من قناة في نفس الوقت دون تداخلهم.

4. حماية وحفظ إشارة المعلومات المحمولة من العوامل الطبيعية: إذا تم إرسال الإشارة الصوتية مباشرة بدون تعديل فسوف تتأثر تأثر كبير بالعوامل الجوية المختلفة كالرياح والأمطار والرطوبة وغيرها، كما ستتعرض لتأثيرات الطبيعة كالتضاريس مثل الجبال والتلال وما إلى ذلك.

5. للتغلب على مشاكل انتشار الموجات "Wave Propagation": حيث أن انتشار الموجات ذات التردد العالي أفضل من انتشار الموجات ذات التردد المنخفض التي تواجه صعوبة في انتشارها.

6. التقليل من التشويش والتداخل باستخدام أنواع معينة من التعديل مثل FM.

3-4 أنواع التعديل

إن اختلاف أنواع الإشارات يعطينا أنواع مختلفة من التعديل. وعند الحديث عن أنواع التعديل نستطيع أن نميز ثلاثة أنواع منه، هي:

3-4-1 التعديل القياسي (Analogue Modulation): هو التعديل الذي يستخدم مع الإشارات المستمرة (Continuous Signals) أي الإشارات المتصلة التي لا نجد قطع بين نقاطها وتكون الإشارة المعدّلة أيضا إشارة مستمرة . وأنواع التعديل القياسي هي:

1. التعديل السعوي Amplitude Modulation (AM) .
2. التعديل الترددي Frequency Modulation (FM).

3. تعديل الطور أوالصفحة (PM) Phase Modulation.

وسوف نتطرق لكل نوع من هذه الأنواع بالتفصيل في الوحدات (4,3).

3-4-2 التعديل النبضي القياسي(Analogue Pulse Modulation):

هو التعديل الذي يستخدم مع الإشارات المتقطعة (Discrete Signals)،وهي الإشارات ذات القيم الغير محددة ولكن نقاطها غير متصلة مع بعضها البعض. ومن أنواع التعديل النبضي القياسي هي:

1. تعديل اتساع النبضة Pulse Amplitude Modulation (PAM).
2. تعديل عرض النبضة (PWM) Pulse Width Modulation.
3. تعديل مكان النبضة (PPM) Pulse Phase Modulation.

وسوف نتطرق لكل نوع من هذه الأنواع بالتفصيل في الوحدة الخامسة.

3-4-3 التعديل النبضي الرقمي (Digital Pulse Modulation):

هو التعديل الذي يستخدم مع الإشارات الرقمية (Digital Signals)، وهي الإشارات ذات القيم المحدودة(1,0). ومن أنواع التعديل النبضي الرقمي هي:

1. الإزاحة السعوية (Amplitude Shift Keying(ASK.
2. الإزاحة الترددية (FSK) Frequency Shift Keying.
3. الإزاحة الطورية (PSK) Phase Shift Keying.

وسوف نتطرق لكل نوع من هذه الأنواع بالتفصيل في الوحدة السادسة. وهنالك أنواع أخرى من التعديل سنتطرق لكل منها فيما بعد.

5-3 التعديل السعوي Amplitude Modulation

التعديل السعوي (AM): هو تغيير اتساع الموجة الحاملة (Carrier Signal) العالية التردد تبعا لتغير القيمة اللحظية لموجة المعلومات المحمولة المنخفضة التردد (Information Signal) مع بقاء تردد وطور الموجة الحاملة ثابتين.

ونميز ثلاثة أساليب للتعديل السعوي (AM):

1. إرسال الحزمتين بدون الحامل Double Side Band Suppressed Carrier(DSB-SC) .
2. إرسال الحزمتين مع الحامل Double Side Band Transmitted Carrier(DSB-TC).
3. إرسال حزمة جانبية واحدة Single Side Band (SSB).

وقبل الدخول في تفاصيل أي أسلوب سنلقي الضوء أولا على مفهوم الحزم الجانبية (Side Band) والطيف الترددي (Spectrum) لأي إشارة لما لهذا الموضوع من ارتباط قوي بدراسة التعديل.

الطيف الترددي (Spectrum) والحزم الجانبية للإشارة (Side Band) وعرض النطاق (BW)

عادة عندما نكتب الإشارة على شكل علاقة جيبية $X(t) = V_m \sin(2\pi f_m t)$، فان هذا التعبير يكون في المجال الزمني (Time Domain) حيث الإشارة متغيرة مع الزمن. ولكن نستطيع التعبير عن نفس الإشارة في المجال الترددي (Frequency Domain) بتحويل يدعى تحويل فورير

(Fourier Transformation) حيث نعبّر عن تغير الإشارة مع التردد. ويكون التحويل على النحو التالي:

$$\sin(2\pi f_m t) \leftrightarrow j1/2[\delta(f-f_m) - \delta(f+f_m)]$$
$$\cos(2\pi f_m t) \leftrightarrow 1/2[\delta(f-f_m) + \delta(f+f_m)]$$

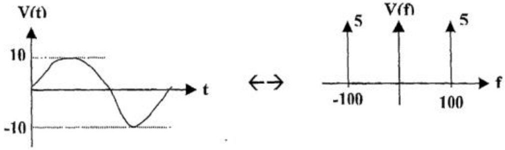
لا نهتم لفرق الطور (j) أو للإشارة السالبة، فلا فرق في دراستنا بين sin و cos لأن ليس دراسة الطور ما يهمنا في هذه المرحلة وإنما دراسة الاتساع.

نكرر ملاحظة مهمة جدا وهي أننا لا نحسب إشارة جديدة وإنما أسلوب آخر للتعبير عن نفس الإشارة.

أي أن التعبير عن إشارة جيبية في المجال الترددي يكون بوميضين أحدها خيالي (التردد السالب) كما في المثال التالي:

مثال: ارسم الطيف الترددي للإشارة الجيبية: $X(t) = 10\ \text{Sin}(628t)$

$$10 \sin(628t) \leftrightarrow j5[\delta(f-100) - \delta(f+100)]$$



ويسمى الوميض في التردد العالي (الموجب) بالحزمة الجانبية العليا للإشارة (Upper Side Band)، ويسمى الوميض في التردد المنخفض (السالب) بالحزمة الجانبية السفلى (Lower Side Band). وتمثل هذه الحزم المعلومة المطلوب نقلها.

والمقصود بعرض النطاق أو عرض الحزمة (Band Width) أو (BW) الفرق بين أعلى وأدنى تردد توجد فيه الإشارة، وبكلمات أخرى هو مدى أو عرض الترددات التي تحتاج الموجة لحجزها من الطيف الترددي الكلي ليتم إرسالها بشكل كامل، وعرض النطاق لموجة جيبية هو:

$$BW = f_h - f_L$$

إذا كانت الإشارة مكونة من تردد واحد فان عرض نطاقها يساوي:

$$BW = 2*f_m$$

مثال1: ما عرض نطاق الموجة التالية: $X(t) = 2\ Cos(2\pi * 200t)$

$$BW = 2*f_m = 2*\ 200 = 400Hz$$

مثال2:احسب عرض النطاق (BW) للإشارة الصوتية التالية:

$$X(t) = 2\ sin(314t) + 3\ cos(628t)$$

الحل: الترددين الموجودين في هذه الإشارة هما:

$$F_{m1} = 314/2*3.14 = 50\ Hz$$

$$F_{m2} = 628/2*3.14 = 100\ Hz$$

وعرض النطاق للإشارة يعتمد على قيمة التردد الأعلى:

$$BW = f_h - f_L = 100-50 = 50\ Hz$$

3-5-1 التعديل السعوي بإرسال الحزمتين الجانبيتين بدون إرسال الحامل (DSB-SC AM)

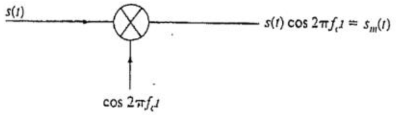
مبدأ هذا التعديل بتغيير اتساع الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة ذات التردد المنخفض، بحيث لا تحمل الموجة

المعدلة أي معلومات عن الموجة الحاملة. وفيما يلي شرح للصيغة الرياضية لهذا التعديل لتوضيح الفكرة:

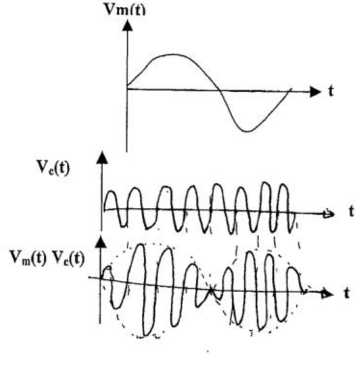
نفرض الإشارة المحمولة $V_m(t)$ ، والإشارة الحاملة $V_c(t)$، فان الإشارة المعدلة هي:

$$V(t) = V_m(t) * V_c(t)$$

ونستطيع التعبير عن عملية التعديل (DSB-SC) بالمخطط الصندوقي التالي:



وفيما يلي توضيح بالرسم لعملية التعديل DSB-SC AM لإشارة جيبية:



للحصول على الإشارة المعدلة تعديل DSB-SCAM نستخدم "المعدّل المتوازن" (Balanced Modulator) وهنالك أنواع مختلفة من هذا المعدّل مثل المعدّل الحلقي وغيرها من المعدلات.

وعرض النطاق أو الحزمة (BW) للموجة المعدلة يساوي: والواضح من الطيف الترددي لها هو ضعف أعلى تردد للموجة المحمولة بغض النظر عن تردد الموجة الحاملة:

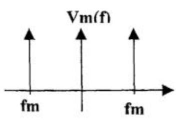
$$BW = (f_c+f_m)-(f_c-f_m)= 2^* f_m$$

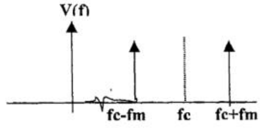
ومن الواضح أن عرض النطاق (BW) هو ضعف أعلى تردد للموجة المحمولة بغض النظر عن تردد الموجة الحاملة، حيث f_m هو أعلى تردد للموجة المحمولة.

مثال1: عدلت موجة حاملة $V_c(t) = V_c \sin(2\pi f_c t)$ بموجة $V_m(t) = V_m \sin(2\pi f_m t)$ فان الإشارة المعدلة:

$$V(t) = V_m V_c \sin(2\pi f_m t) \sin(2\pi f_c t)$$
$$= V_m V_c/2 \; [\; \cos(2\pi(f_c+f_m)t - \cos(2\pi(f_c-f_m)t]$$

نلاحظ أن عملية التعديل أزاحت التردد المنخفض إلى مستوى الترددات العالية كما يبين الطيف الترددي لكلا الموجتين (المحمولة والمعدلة):





ونلاحظ أن الموجة المعدلة تتكون من الحزمة الجانبية العليا والسفلى حيث تردد الحزمة الجانبية العليا f_{USB} يساوي: $f_{USB} = f_c + f_m$

وتردد الحزمة الجانبية السفلى f_{LSB} يساوي: $f_{LSB} = f_c - f_m$

ولا توجد أي معلومات منقولة على التردد الحامل لذلك يسمى هذا النوع من التعديل "بدون حامل Suppressed Carrier". وفي هذا الإجراء توفير للطاقة، حيث لم نحسر أي جزء منها على الموجة الحاملة وإنما استغلت كل القدرة لإرسال الحزمتين الجانبيتين التي تحمل المعلومة المطلوب نقلها.

وبالحديث عن القدرة (power) ، فيمكننا حساب قدرة الموجة المعدلة (modulated signal). والصيغة الرياضية بناء على معادلة الموجة المعدلة هي:

$$P_{USB} = V^2/2R = (V_m V_c/2)^2/2R = V_m^2 V_c^2/8R$$
$$P_{LSB} = V^2/2R = (V_m V_c/2)^2/2R = V_m^2 V_c^2/8R$$
$$P_{SB} = P_{USB} + P_{LSB} = V_m^2 V_c^2/4R$$

ملاحظة رياضية1: عند ضرب علاقتين جيبيتين فحاصل الضرب يكون على النحو التالي:

$$\mathrm{Sin}(x) * \mathrm{Sin}(y) = 1/2\,[\mathrm{Cos}(x-y) - \mathrm{Cos}(x+y)]$$
$$\mathrm{Cos}(x) * \mathrm{Cos}(y) = 1/2\,[\mathrm{Cos}(x-y) + \mathrm{Cos}(x+y)]$$
$$\mathrm{Cos}(x) * \mathrm{Sin}(y) = 1/2\,[\mathrm{Sin}(y-x) + \mathrm{Sin}(y+x)]$$

مثال2: عدّلت موجة حاملة ذات العلاقة $V_c(t) = 2\,\mathrm{Cos}(2\pi * 10^6 t)$ بموجة صوتية لها العلاقة التالية $V_m(t) = 3\mathrm{Cos}(2\pi * 10^3 t)$ تعديل سعوي DSB-SC أجب على ما يلي:

1. جد الموجة المعدلة تعديل سعوي DSB-SC.

2. احسب تردد الحزمة الجانبية العليا والسفلى.

3. ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة موضحا جميع القيم

4. احسب قدرة الحزمة الجانبية العليا، السفلى، والكلية للموجة المعدلة إذا كانت المقاومة $R= 900\Omega$

5. احسب عرض النطاق للموجة المعدلة (BW).

الحل:

.1 $V(t) = V_m(t) * V_c(t)$

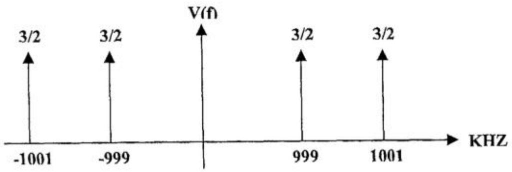
$= 2*3*Cos(2\pi*10^6t)\ Cos(2\pi*10^3t)$

$= 3\ [Cos(2\pi(10^6-10^3)t) + Cos(2\pi(10^6+10^3)t)]$

.2 fLSB = 106 - 103 = 999 KHz

$f_{USB} = 10^6 + 10^3 = 1001KHz$

.3 الطيف الترددي للموجة المعدلة على الشكل التالي:



.4 PUSB = V2/2R = 32/2*900 = 5mw

$P_{LSB} = V^2/2R = 3^2/2*900 = 5mw$

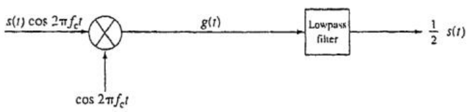
$P_{SB} = P_{LSB} + P_{LSB} = 5m+5m = 10mw$

.5 BW = 2* fm = 2* 103 = 2KHz

التعديل العكسي Demodulation

إذا كانت عملية التعديل ضرورية في المرسل لتأمين إرسال لمسافات طويلة وبالكفاءة التي تحدثنا عنها سابقا، فان من المهم أن نضمن أن يتمكن المستقبل من استرجاع إشارة المعلومات المحمولة من الإشارة المعدلة (عملية التعديل العكسي Demodulation).

وعملية التعديل العكسي DSB-SC Amplitude demodulation يتم بإعادة ضرب الإشارة المعدلة بالإشارة الحاملة مرة أخرى (معدّل متوازن) فنحصل على إشارتين ، أحدهما تحتوي الإشارة المطلوبة والأخرى غير مرغوبة ذات تردد عالي يمكن التخلص منها باستعمال مصفى تمرير حزمة الترددات المنخفضة (LPF). والمخطط الصندوقي لعملية التعديل العكسي لهذا النوع هو:



وتتضح هنا سيئة لاستخدام هذا النوع من التعديل (DSB-SC) وهو أن المرسل يجب أن يولد الإشارة الحاملة (إشارة لها نفس تردد الموجة الحاملة) بالضبط وإلا فلن نحصل على الإشارة المطلوبة بشكل سليم.

مثال: الإشارة المعدلة في المثال السابق

$$V= 3\,[\cos(2\pi(10^6-10^3)t) + \cos(2\pi(10^6+10^3)t)]$$

عدلت عكسيا في المستقبل بإشارة $V(t) = 6\cos(2\pi*10^6 t)$ فناتج المعدل المتوازن مبين بالإشارة التالية:

$$V_x(t)=18Cos(2\pi*10^6t)[Cos(2\pi(10^6-10^3)t) + Cos(2\pi(10^6+10^3)t)]$$

وبتوزيع الضرب واستخدام المعادلات الرياضية الخاصة بالعلاقات الجيبية نبسط العلاقة السابقة إلى:

$$V_x(t) = 9\{[Cos(2\pi(2*10^6-10^3)t)+ Cos(2\pi*10^3)t] + [Cos(2\pi(2*10^6+10^3)t)+ Cos(2\pi*10^3)t]$$

$$9Cos(2\pi(2*10^6-10^3)t)+9Cos(2\pi(2*10^6+10^3)t)+18Cos(2\pi*10^3)t=$$

وبعد مرور هذه الإشارة بمصفى تمرير حزمة الترددات المنخفضة لا يمر الحدين الأول والثاني بسبب ترددهم العالي وتمرر الإشارة المرغوبة:

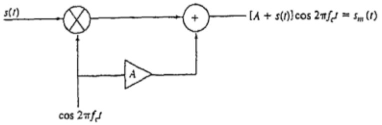
$$V(t)= 18 \cdot Cos(2\pi*10^3)t$$

مما يثبت أننا استرجعنا الإشارة المحمولة (تردد الموجة المحمولة) من الإشارة المعدلة.

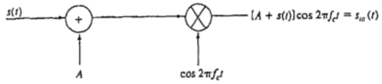
3-5-2 التعديل السعوي بإرسال الحزمتين الجانبيتين مع الحامل

(DSB-TC AM)

انه نوع التعديل السعوي الذي نضيف فيه جزء صافي من الموجة الحاملة (Carrier) إلى الموجة المعدّلة تعديل سعوي من النوع السابق (بدون الحامل Suppressed Carrier). وبالتالي نستنتج من هذا التعريف أن المخطط الصندوقي لهذا التعديل DSB-TCAM كما موضح في الشكل التالي:

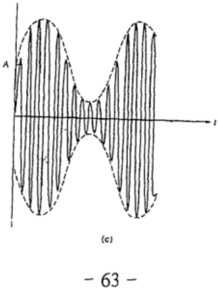


(b) Transmitted carrier



فبالإضافة إلي إرسال الحزم الجانبية (USB,LSB) جزء من الحامل يرسل أيضا، ولكن المعلومات المطلوبة موجودة فقط في الحزم الجانبية أما الحامل فلا يحمل أي معلومة. مما يعني أن جزء من قدرة الإرسال سوف تضيع لإرسال جزء من الموجة الحاملة مما يجعل هذا النوع من التعديل السعوي (DSB-TC) أقل كفاءة من النوع السابق (DSB-SC).

فإذا فرضنا الإشارة المحمولة $V_m(t) = V_m Sin(\omega_m t)$ والإشارة الحاملة $V_c = V_c Sin(\omega_c t)$ يلي شرح بالرسم عن شكل الإشارة المعدلة تعديل سعوي DSB-TC :



(c)

إن أقصى اتساع تصله الموجة المعدلة يساوي $A_{max} = V_c + V_m$
بحيث أن قيمة هذا الاتساع تتغير تبعا لتغير القيمة اللحظية للإشارة المحمولة :

$$\begin{aligned} A &= V_c + V_m \text{Sin}(\omega_m t) \\ &= V_c + m_a * V_c \text{ Sin}(\omega_m t) \\ &= V_c (1 + m_a \text{ Sin}(\omega_m t)) \end{aligned}$$

حيث $m_a = V_m / V_c$

ويمكن تمثيل العلاقة النهائية للإشارة المعدلة تعديل سعوي DSB-TC بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\begin{aligned} V(t) &= A \text{ Sin}(\omega_c t) = V_c (1 + m_a \text{ Sin}(\omega_m t))\text{Sin}(\omega_c t) \\ &= V_c \text{ Sin}(\omega_c t) + m_a V_c \text{ Sin}(\omega_m t)\text{Sin}(\omega_c t) \\ &= V_c \text{ Sin}(\omega_c t) + m_a V_c/2 \, [\text{Cos}(2\pi(f_c - f_m)t) - \text{Cos}(2\pi(f_c + f_m)t)] \end{aligned}$$

حيث:

V_c: اتساع الإشارة الحاملة (Carrier).

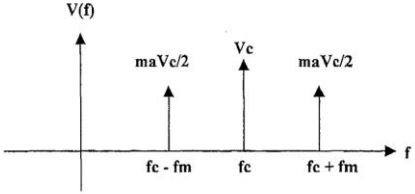
V_m: اتساع الإشارة المحمولة (Information).

$\omega_c = 2\pi f_c$ = السرعة الزاوية للإشارة الحاملة.

$\omega_m = 2\pi f_m$ = السرعة الزاوية للإشارة المحمولة.

m_a: معامل التعديل السعوي (Modulation Index) .

والطيف الترددي للإشارة المعدلة يكون على النحو التالي:



حيث:

تردد الحزمة الجانبية العليا يساوي f_c+f_m

تردد الحزمة الجانبية السفلى يساوي f_c-f_m

تردد الموجة الحاملة يساوي f_c

ومن الطيف الترددي للإشارة المعدلة نجد أن عرض النطاق (BW) لها كما في التعديل السابق DSB-SC

$$BW = f_H - f_L = (f_c+f_m)-(f_c-f_m)= 2^* f_m$$

<u>معامل التعديل Modulation Index (ma)</u>

معامل التعديل (ma) هو نسبة أقصى اتساع للموجة المحمولة V_m إلى اتساع الموجة الحاملة V_c :

$$m_a = V_m/V_c$$

ويمكن حساب النسبة المئوية للتعديل:

$$\%mode = m_a * 100\%$$

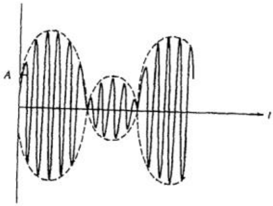
وشرط نجاح التعديل السعوي DSB-TC أن يكون اتساع الموجة المحمولة أقل من اتساع الموجة الحاملة، وبالتالي نميز ثلاثة حالات:

1. $V_c > V_m$:عندئذ تكون عملية التعديل فعالة ويحسب معامل التعديل وفقا للقانون أعلاه وبالتالي فان قيمة معامل التعديل تتراوح بين $0 < m_a < 1$

2. $V_m = V_c$: وهي القيمة الحرجة لجعل عملية التعديل فعالة والتي قيمة معامل التعديل لها:

$$\%mode = 100\% \quad \text{أو} \quad m_a = 1$$

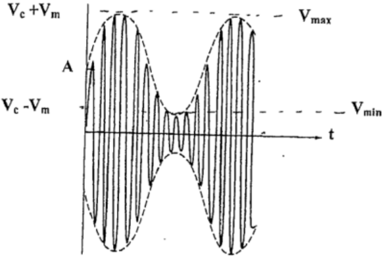
أي أن نسبة التعديل في هذه الحالة 100%. ويكون غطاء الإشارة المعدلة ملامس للمحور السيني:



(b)

3. $Vc < Vm$: عندئذ تكون عملية التعديل غير فعالة ويجب تجنب هذه الحالة بسبب حدوث مناطق تداخل للإشارة مع نفسها .

ويمكن حساب معامل التعديل شكل الموجة المعدلة كما يلي:



$$m_a = (V_{max} - V_{min}) / (V_{max} + V_{min})$$

ملاحظة: معامل التعديل للتعديل السعوي بدون حامل DSB-SC يساوي (∞) حيث:

$$m_a = V_m/V_c = V_m/0 = \infty$$

القدرة Power

من العلاقة النهائية للموجة المعدلة تعديل سعوي DSB-TC التي حصلنا عليها سابقا:

$$V(t) = V_c \, Sin(\omega_c t) + m_a \, V_c/2 \, [Cos(2\pi(f_c-f_m)t) - os(2\pi(f_c+f_m)t)]$$

نلاحظ ثلاثة أجزاء في الإشارة تحمل معلومة (الحزمة الجانبية العليا USB ، الحزمة الجانبية السفلى LSB ، والموجة الحاملة Carrier)، وبالتالي تحسب القدرة لكل جزء منها ومجموعها يشكل القدرة الكلية للإشارة.

وكما نعلم أن قدرة أي إشارة تعتمد على اتساع تلك الإشارة، ونلاحظ من المعادلة أن اتساع الحزمة الجانبية العليا والسفلى متساوي ويعتمد على معامل التعديل ma . ورياضيا:

$$P_{USB} = V^2/2R = (m_a V_c/2)^2/2R = m_a^2 V_c^2/8R$$

$$P_{LSB} = P_{USB} = V^2/2R = (m_a V_c/2)^2/2R = m_a^2 V_c^2/8R$$

$$P_{SB} = P_{USB} + P_{LSB} = m_a^2 V_c^2/4R$$

$$P_c = V^2/2R = V_c^2/2R$$

من معادلات القدرة التي حصلنا عليها نستطيع الحصول على الاستنتاجات التالية:

$$P_T = P_{USB} + P_{LSB} + P_c = P_{SB} + P_c$$

$$= m_a^2 V_c^2/4R + V_c^2/2R = V_c^2/2R(1 + m_a^2/2)$$

$$= P_c(1 + m_a^2/2)$$

$$P_{USB} = P_{LSB} = m_a^2 V_c^2/8R = P_{SB}/2$$

$$P_{USB} = P_{LSB} = m_a^2 V_c^2/8R = m_a^2 P_c/4$$

$$P_{SB} = m_a^2 V_c^2/4R = m_a^2 P_c/2$$

والحالة الخاصة الجديرة بالدراسة عندما تكون نسبة التعديل100%، وعندها:

$$P_{USB} = P_{LSB} = P_{SB}/2 = V_c^2/8R = P_c/4$$

$$P_{SB} = V_c^2/4R = P_c/2$$

$$P_T = P_c(1 + 1/2) = 3/2\, P_c$$

ومن الجدير بالذكر أن قدرة الإشارة الحاملة P_c تعد قدرة ضائعة لم نفقدها في حالة التعديل السعوي بدون حامل DSB-SC لذلك يعد التعديل

السعوي DSB-TC أقل كفاءة ولكنه يستخدم بسبب رخص الأجهزة التي تستعمله المنتشرة بين الناس.

مثال1: موجة حاملة ذات تردد 8MHz تم تعديلها تعديل سعوي -DSB TC بموجة صوتية ذات تردد 10 KHz ، فما قيمة الترددات التي ستظهر في الموجة المعدلة؟ احسب عرض النطاق (BW). ثم ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة مبينا جميع القيم.

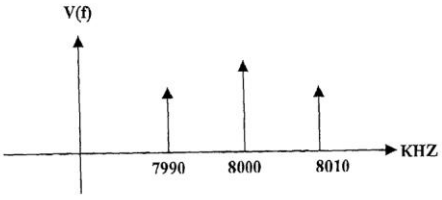
تردد للحزمة الجانبية العليا: $f_{USB} = f_c + f_m = 8000 + 10 = 8010KHz$

تردد للحزمة الجانبية السفلى: $f_{LSB} = f_c - f_m = 8000 - 10 = 7990KHz$

تردد الحامل (Carrier) : $f_c = 8MHz$

عرض النطاق يساوي: $BW = 2*f_m = 2*10KHz = 20KHz$

الطيف الترددي للموجة المعدلة يكون على النحو التالي:



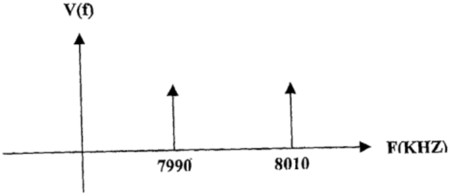
مثال2: أعد الإجابة على المثال السابق إذا استخدمنا التعديل السعوي بدون الحامل DSB-SC.

تردد للحزمة الجانبية العليا: $f_{USB} = f_c + f_m = 8000 + 10 = 8010KHz$

تردد للحزمة الجانبية السفلى: $f_{LSB} = f_c - f_m = 8000 - 10 = 7990KHz$

عرض النطاق يساوي: $BW = 2*f_m = 2*10KHz = 20KHz$

الطيف الترددي للموجة المعدلة يكون على النحو التالي:



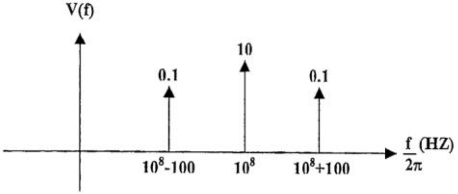
مثال3: الإشارة الصوتية التالية $X(t) = 2\ Sin\ (100t)$ عدلت الإشارة الحاملة: $V(t) = 10\ Cos(10^8t)$ تعديل سعوي مع حامل DSB-TC.

1. جد العلاقة النهائية للموجة المعدلة.
2. احسب معامل التعديل
3. ارسم الطيف الترددي للإشارة المعدلة موضحا جميع القيم.
4. احسب قدرة الحزمة الجانبية العليا إذا كانت مقاومة الدائرة تساوي $R= 250\Omega$.

الحل:

1. $V(t) = [10 + 2\ Sin(100t)]\ Cos(10^8t)$
2. $m_a = V_m/V_c = 2/10 = 0.2$

.3



$P_{USB} = ma^2V_c^2/8R = 0.2^2 * 10^2/8*250 = 2mw$ .4

مثال4: قدرة الحزم الجانبية العليا لموجة معدلة تعديل سعوي DSB-TC تساوي 2mw، فإذا كان معامل التعديل يساوي 1 فما قيمة كل من:

1. قدرة الحزم الجانبية السفلى.
2. قدرة الموجة الحاملة.
3. القدرة الكلية.

الحل: في هذه الحالة الخاصة (معامل التعديل ma=1) فان:

.1 $P_{USB} = P_{LSB} = 2mw$

.2 $P_c = 2* P_{USB} = 2* 2m = 4mw$

.3 $P_T = 3/2\ P_c = 3/2 *4m = 6mw$

مثال5: أعد الإجابة على المثال السابق إذا كانت نسبة التعديل 60%.

الحل: في هذه الحالة يجب أن نستعمل القانون الأصلي:

.1 PUSB = PLSB = 2mw

2. $PUSB = ma2 Pc /4$

$$P_c = 4 * P_{USB} / m_a^2 = 4 * 2mw / 0.6^2 = 22.2 \text{ mw}$$

3. $PT = Pc(1+ ma2/2) = 22.2 (1+ 0.62/2) = 26.2$ mw

مثال6: إذا كانت قدرة الموجة المعدلة 23mw وقدرة الحزمة الجانبية السفلى 4mw، فما نسبة التعديل لهذا التعديل السعوي DSB-TC؟

$$P_T = P_{USB} + P_{LSB} + P_c = P_{SB} + P_c$$

$$23 = 2 + 2 + P_c$$

$$P_c = 19mw$$

$$P_{SB} = m_a^2 V_c^2 / 4R = m_a^2 P_c / 2$$

$$= 2 * 4/19 = 0.421 \, m_a^2$$

$$m_a = 0.65$$

$$\%mode = 0.65 * 100\% = 65\%$$

مثال7: إذا أعطيت الموجة المعدلة تعديل سعوي DSB-SC بالعلاقة التالية:

$$V(t) = [20 + 15 \, Sin(2\pi * 10^3 t)] \, Sin \, (2\pi * 10^4 t)$$

فأجب عما يلي:

1. اتساع الموجة الحاملة.
2. اتساع الموجة المحمولة.
3. الترددات في هذه الموجة.
4. عرض النطاق (BW).
5. إذا كانت مقاومة الدائرة R= 100Ω فما قيمة القدرة الكلية، قدرة الحامل وقدرة الحزم الجانبية؟

الحل:

أولا نعيد كتابة العلاقة بالصورة القياسية:

$$V(t) = 20\,[1 + 0.75\,\mathrm{Sin}(2\pi * 10^3 t)]\,\mathrm{Sin}\,(2\pi * 10^4 t)$$

.1 $V_c = 20$ volt

.2 $m_a = 0.75$

$$m_a = V_m / V_c$$

$$V_m = m_a * V_c = 0.75 * 20 = 15 \text{ volt}$$

.3 تردد الحزمة الجانبية العليا $fUSB = fc + fm = 104 + 103 = 11$ KHz

تردد الحزمة الجانبية السفلى $f_{LSB} = f_c - f_m = 10^4 - 10^3 = 9$ KHz

تردد الحامل $f_c = 10^4$ Hz $= 10$ KHz

.4 $BW = 2 * fm = 2 * 103 = 2$ KHz

.5 $Pc = Vc2 / 2R = 202/2*100 = 2w$

$$P_T = P_c(1 + m_a^2/2) = 2(1 + 0.75^2/2) = 2.56 \text{ w}$$

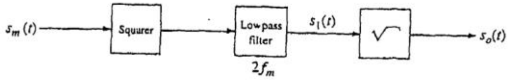
$$P_{SB} = P_T - P_c = 2.56 - 2 = 0.56\text{w}$$

$$P_{LSB} = P_{USB} = P_{SB}/2 = 0.56/2 = 0.28\text{w}$$

التعديل العكسي Demodulation

أن التعديل العكسي لهذا النوع أسهل من التعديل العكسي للنوع السابق، وذلك لوجود الحامل في الموجة المعدلة فيستفاد من هذه الميزة. حيث لا نحتاج في المستقبل إلى توليد إشارة مطابقة للموجة الحاملة (وهو الأمر الذي يشكل مشكلة في التعديل العكسي لموجة معدلة DSB-SC).

فأسلوب التعديل العكسي الذي يستعمل مع هذا النوع يمكن وصفه بالمخطط الصندوقي التالي:



بالكلمات فان خطوات التعديل العكسي يمكن أن تلخص بدائرة تربيع ثم مصفى تمرير حزمة ترددات منخفضة ثم دائرة جذر تربيعي ومكثف. وفيما يلي إثبات رياضي بالمعادلات تحصيل الموجة المحمولة من المعدلة بهذه الطريقة:

معادلة الموجة المعدلة الداخلة الى الدائرة الأولى هي:

$$V(t) = A\ Sin(\omega_c t) = V_c\ (1 + m_a\ Sin\ (\omega_m t))Sin(\omega_c t)$$

الإشارة الناتجة بعد عملية التربيع هي:

$$V^2(t) = (Vc + Vc\ m_a\ Sin\ (\omega_m t))^2\ Sin^2(\omega_c t)$$
$$= (Vc + Vc\ m_a\ Sin\ (\omega_m t))^2(1\text{-}Cos(2\omega_c t))/2$$
$$=1/2(Vc+Vcm_aSin(\omega_m t))^2\text{-}1/2(Vc+Vcm_aSin\ (\omega_m t))^2Cos(2\omega_c t)$$

بعد مرور الإشارة الأخيرة بمصفى حزمة الترددات المنخفضة (LPF)، فالإشارة الباقية الناتجة من المصفى هي:

$$V_o(t) =1/2(Vc + Vc\ m_a\ Sin\ (\omega_m t))^2$$

وبعد تمرير الإشارة الأخيرة بدائرة الجذر التربيعي تصبح الإشارة بالشكل التالي:

$$V_o(t) =1/\sqrt{2}(Vc + Vc\ m_a\ Sin\ (\omega_m t))$$

وبتمرير الإشارة الأخيرة بمكثف فان الإشارة الثابتة (DC) لا تمر، والإشارة المتبقية على المخرج هي:

$$V_o(t) =0.707\ Vc\ m_a\ Sin\ (\omega_m t)$$

والإشارة الأخيرة هي الإشارة المحمولة المطلوبة (التردد المرغوب) والتي استقبلت بنجاح.

ملاحظة: لا تستعمل الأجهزة العسكرية التعديل السعوي DSB-TC، لكي لا يسهل على الغير التقاط الإشارة وإنما تستعمل الطرق التي لا تحمل أي معلومة عن تردد الموجة الحاملة.

3-5-3 التعديل السعوي بإرسال حزمة جانبية واحدة

Single Side Band (SSB)

من الملاحظات التي حصلنا عليها من كلا النوعين السابقين للتعديل السعوي DSB-SC وDSB-TC:

1. أن المعلومة المطلوب إرسالها تكون محتواة في الحزم الجانبية.
2. أن إرسال الموجة الحاملة في DSB-TC سبب ضياع مقدار من القدرة .
3. أن الحزمة الجانبية العليا تحمل نفس المعلومة التي تحملها الحزمة الجانبية السفلى في كلا النوعين.

نستنتج من هذه الملاحظات أنه يكفي بالغرض إرسال حزمة جانبية واحدة (العليا أو السفلى) ليتم إيصال المعلومة كاملة إلى المستقبل بدون خسارة، بل بتوفير مقدار كبير من القدرة المطلوبة (والتي تصل إلى نصف القدرة اللازمة في حالة DSB-SC).

ويسمى هذا النوع من أنواع التعديل السعوي بتعديل الحزمة الجانبية الواحدة (SSB). والفائدة الأخرى التي نحصلها من هذا التعديل هو توفير عرض نطاق الموجة المرسلة إلى النصف، حيث:

$$BW = f_m$$

وهنالك طريقتين لتوليد الحزمة الجانبية المفردة (SSB)، هما:

1. طريقة التصفية Filter Method .

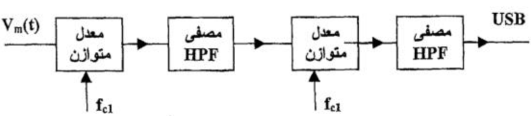
2. طريقة الصفحة Phase Method .

3-5-3-1 طريقة التصفية Filter Method

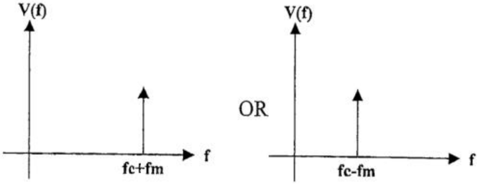
تتلخص هذه الطريقة بتوليد الحزمتين الجانبيتين بإدخال الموجة المحمولة (ذات التردد f_m) والموجة الحاملة.(ذات التردد f_{c1}) على معدّل متوازن (إنتاج الموجة المعدلة تعديل سعوي DSB-SC)، ثم إدخال هذه الموجة المعدلـــة (التي تحوي الحزمتين الجانبيتين العليـــا والسفلى أي الترددين f_m+f_{c1} و$f_{c1}-f_m$) على مصفى تمرير حزمـــة وسيطة عاليـــة (Band Pass Filter) إذا أردنا الحصول على الحزمة الجانبية العليا ذات التردد f_m+f_{c1} (أو مصفى تمرير حزمة منخفضة إذا أردنا الحصول على الحزمة الجانبية السفلى ذات التردد $f_{c1}-f_m$).

ولكن تبقى الموجة الناتجة ذات تردد منخفض نسبيا ولا يمكن بثها مباشرة لذلك يعاد إدخال الإشارة الناتجة على معدل متوازن ومصفى وسيط مرة أخرى وذلك لرفع ترددها وإرسالها بفعالية، فنحصل على حزمة جانبية عليا لها التردد $f_m+f_{c1}+f_{c2}$ ، أو حزمة جانبية سفلى لها التردد $f_{c2} - f_{c1}-f_m$.

والمخطط الصندوقي لطريقة التصفية لتوليد الحزمة الجانبية العليا موضحة في الشكل التالي:



والطيف الترددي للموجة المعدلة بهذه الطريقة موضح في الشكل التالي:



مثال1: إذا كان تردد الموجة المحمولة 1KHz وتردد الموجة الحاملة الأولى 100KHz وتردد الموجة الحاملة الثانية 10MHz، واستخدمت طريقة التصفية لتوليد الحزمة الجانبية السفلى، فاحسب قيمة الترددات بعد كل جزء من المخطط الصندوقي. ما عرض النطاق للموجة المعدلة SSB الناتجة؟ ما شكل الطيف الترددي للموجة المعدلة الناتجة؟

بعد المعدل المتوازن الأول:

تردد الحزمة الجانبية العليا: $f_{c1} + f_m = 1 + 100 = 101$ KHz

تردد الحزمة الجانبية السفلى: $f_{c1} - f_m = 100 - 1 = 99$ KHz

بعد مصفى تمرير الترددات السفلى الأول:

تردد الحزمة الجانبية السفلى: $f_{c1} - f_m = 100 - 1 = 99$ KHz

بعد المعدل المتوازن الثاني:

تردد الحزمة الجانبية العليا: $f_{c2} + (f_{c1} - f_m) = 10000 + 99 = 10099$ KHz

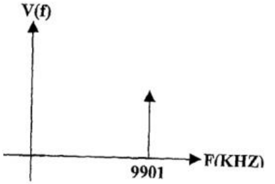
تردد الحزمة الجانبية السفلى: $f_{c2} - (f_{c1} - f_m) = 10000 - 99 = 9901$ KHz

بعد مصفى تمرير الترددات السفلى الثاني:

تردد الحزمة الجانبية السفلى: $f_{c2} - (f_{c1} - f_m) = 10000 - 99 = 9901\ KHz$

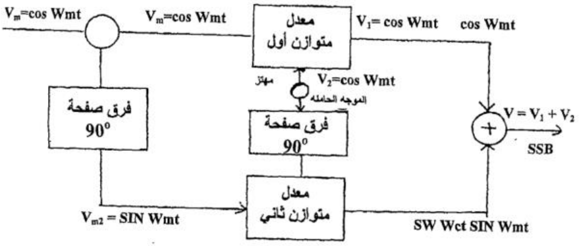
عرض النطاق (BW) للموجة المعدلة SSB: $BW = f_m = 1\ KHz$

والطيف الترددي للموجة المعدلة النهائية هو:



3-5-3-2 طريقة الصفحة Phase Method

المخطط الصندوقي لطريقة الصفحة موضح في الشكل التالي:



لتوضيح أسلوب عمل هذه الطريقة نتتبع أجزاء المخطط كما يلي:

الإشارة المحمولة : $V_m(t) = V_m Cos(\omega_m t)$

وبعد فرق صفحة 90 درجة تكون الإشارة $V_m(t) = V_m Sin(\omega_m t)$

والإشارة الحاملة $V_c = V_c Cos(\omega_c t)$

وبعد فرق صفحة 90 درجة تكون الإشارة $V_c(t) = V_c Sin(\omega_c t)$

الناتج من المعدل المتوازن الأول:

$$V(t) = V_m V_c Cos(2\pi f_m t)\ Cos(2\pi f_c t)$$
$$= V_m V_c/2\ [\ Cos(2\pi(f_c+f_m)t) + Cos(2\pi(f_c-f_m)t)]$$

الناتج من المعدل المتوازن الثاني:

$$V(t) = V_m V_c Sin(2\pi f_m t)\ Sin(2\pi f_c t)$$
$$= V_m V_c/2\ [\ Cos(2\pi(f_c+f_m)t) - Cos(2\pi(f_c-f_m)t)]$$

الخطوة الأخيرة هي التي تحدد الحزمة الجانبية الناتجة، ففي حالة الجامع نحصل على الحزمة الجانبية العليا:

$$V(t) = V_m V_c/2\ [\ Cos(2\pi(f_c+f_m)t) + Cos(2\pi(f_c-f_m)t)] + V_m V_c/2\ [\ Cos(2\pi(f_c+f_m)t) - Cos(2\pi(f_c-f_m)t)]$$
$$= V_m V_c Cos(2\pi(f_c+f_m)t)$$

وفي حالة الطارح نحصل على الحزمة الجانبية السفلى:

$$V(t) = V_m V_c/2\ [\ Cos(2\pi(f_c+f_m)t) + Cos(2\pi(f_c-f_m)t)] - V_m V_c/2\ [\ Cos(2\pi(f_c+f_m)t) - Cos(2\pi(f_c-f_m)t)]$$
$$= V_m V_c Cos(2\pi(f_c-f_m)t)$$

وعرض النطاق للموجة المعدلة SSB مثل الطريقة السابقة ويساوي:

$$BW = f_m$$

وقدرة الإشارة المرسلة يمكن حسابه من العلاقة الأخيرة على النحو التالي:

$$P_T = (\ V_m V_c)^2/2R$$

التعديل العكسي Demodulation

عملية التعديل العكسي للتعديل السعوي ذو الحزمة الجانبية الواحدة هو نفس أسلوب التعديل المستخدم مع التعديل السعوي DSB-SC ، أي يتم في المستقبل ضرب الإشارة المعدلة بإشارة لها نفس تردد الإشارة الحاملة (بواسطة معدل متوازن) وتمرير الناتج إلى مصفى تمرير حزمة ترددات منخفضة (LPF).

الإشارة الناتجة من المعدل المتوازن:

$$V(t)= \cos(2\pi(f_c+f_m)t) \cos(2\pi f_c t)$$
$$= 1/2 [\cos(2\pi(2f_c+f_m)t) + \cos(2\pi f_m t)]$$

بعد مصفى تمرير حزمة الترددات المنخفضة تبقى الإشارة المطلوبة:

$$V_o(t) = 1/2 \cos(2\pi f_m t)$$

3-5-4 مقارنة بين أنواع التعديل السعوي

يمكن المقارنة بين أنواع التعديل السعوي الثلاثة من حيث القدرة، عرض النطاق، ومدى صعوبة التعديل العكسي. ويمكن تلخيص المقارنة بالجدول التالي:

نوع التعديل	قدرة الإرسال	التعديل العكسي	عرض النطاق
DSB-SC	قليلة نسبيا	أكثر تعقيد	عالية
DSB-TC	الأعلى	الأسهل	عالية
SSB	الأقل	أكثر تعقيد	الأقل (للنصف)

أسئلة آخر الفصل

س1) ما هو مبدأ التعديل (Modulation)؟

س2) هل نستطيع تعديل الإشارة اللادورية؟ ولماذا؟

س3) ما هو تعريف التعديل العكسي Demodulation ؟

س4) إذا عدلت الإشارة الصوتية (مدى الترددات 20Hz- 20KHz) بموجة ذات تردد عالي (10MHz) فما النسبة بين أقل وأعلى طول للهوائي المستخدم؟

س5) أي نوعي التعديل أقل تأثر بالتشويش: AM أم FM ؟

س6) ارسم الطيف الترددي (Spectrum) للموجات التالية واحسب عرض النطاق (BW) لكل منها:

1. $X(t) = 2 \sin(1000t)$
2. $Y(t) = 2 \cos(6280t + 30°)$
3. $X(t) = 10 \sin^2(200t - 10°)$
4. $X(t) = 10 \sin(2\pi * 10^3 t)$
5. $Y(t) = 2 \cos(628t) + 3 \cos(314t)$
6. $S(t) = 20 \cos^2(500t)$

س7) ما وظيفة المعدل المتوازن (Balanced Modulator)؟

س8) إذا عدلت إشارة حاملة ذات تردد 100KHz بإشارة صوتية ذات التردد 10KHz فما الترددات التي ستظهر في الموجة المعدلة وما قيمة عرض النطاق (BW) في لكل من الأنواع التالية:

1. DSB-SC

2. DSB-TC

3. SSB

س9) ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة لكل حالة في السؤال الثامن.

س10) عدلت إشارة حاملة ذات العلاقة $X(t) = 2 \sin(62800t)$ بإشارة صوتية ذات العلاقة التالية $Y(t) = 2 \cos(6280t)$ تعديل سعوي DSB-SC ، أجب عن الأسئلة التالية:

1. ما العلاقة النهائية للموجة المعدلة؟
2. ما تردد الحزمة الجانبية العليا (USB) والسفلى (LSB) ؟
3. ما قيمة عرض النطاق (BW) للموجة المعدلة؟
4. ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة مبينا جميع القيم.
5. احسب قدرة الحزمة الجانبية العليا، وقدرة الحزمة الجانبية السفلى، والقدرة الكلية إذا $R = 100\Omega$.
6. ما اسم الجهاز المستخدم لتوليد الموجة المعدلة؟

س11) أعد الإجابة على السؤال العاشر إذا كانت الإشارة الصوتية موضحة بالعلاقة التالية: $Y(t) = 2 \cos(628t) + 3 \cos(314t)$

س12) في المستقبلة تتم عملية التعديل العكسي (Demodulation) لاسترجاع الإشارة المحمولة التي تم إرسالها في السؤال العاشر. فأدخلت الإشارة المعدلة على معدل متوازن مع الإشارة التالية:

$X(t) = 10 \sin(62800t)$ ، ثم أدخلت الإشارة الناتجة إلى مصفى تمرير حزمة ترددات منخفضة.

تتبع بالمعادلات الرياضية الحصول على الإشارة المحمولة في المستقبلة بالترتيب المذكور.

س13) في المستقبلة تتم عملية التعديل العكسي (Demodulation) لاسترجاع الإشارة المحمولة التي تم إرسالها في السؤال (11) . فأدخلت الإشارة المعدلة على معدل متوازن مع الإشارة التالية:

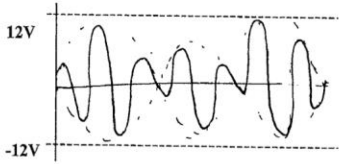
$X(t) = 10 \sin(62800t)$ ، ثم أدخلت الإشارة الناتجة الى مصفى تمرير حزمة ترددات منخفضة.

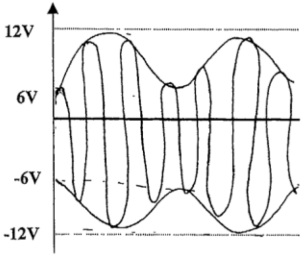
تتبع بالمعادلات الرياضية الحصول على الإشارة المحمولة في المستقبلة بالترتيب المذكور.

س14) هل يؤثر تردد الموجة المحمولة على معامل التعديل ma ؟

س15) وضح بالمعادلات سبب فشل عملية التعديل DSB-TC إذا كـــان $V_c < V_m$.

س16) احسب معامل التعديل ma لكل من الموجتين المعدلتين الموضحتين في الشكل التالي:





س17) موجة حاملة ذات تردد 1MHz تم تعديلها تعديل سعوي DSB-TC بموجة صوتية ذات تردد 15KHz ، فما قيمة الترددات التي ستظهر في الموجة المعدلة؟ احسب عرض النطاق (BW). ثم ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة مبينا جميع القيم.

س18) الإشارة الصوتية التالية $X(t) = 6\ Sin\ (1200t)$ عدلت الإشارة الحاملة: $V(t) = 10\ Cos(105t)$ تعديل سعوي مع حامل DSB-TC.

1. جد العلاقة النهائية للموجة المعدلة.
2. احسب معامل التعديل m_a
3. ارسم الطيف الترددي للإشارة المعدلة موضحا جميع القيم.
4. احسب قدرة الحزمة الجانبية العليا إذا كانت مقاومة الدائرة تساوي $R= 250\Omega$.
5. ارسم الموجة المعدلة.

س19) قدرة الحزم الجانبية العليا لموجة معدلة تعديل سعوي DSB-TC تساوي 2mw، فإذا كان معامل التعديل يساوي 1 فما قيمة كل من:

1. قدرة الحزم الجانبية السفلى.

2. قدرة الموجة الحاملة.

3. القدرة الكلية.

س20) أعد الإجابة على السؤال السابق إذا كانت نسبة التعديل 80%.

س21) إذا كانت قدرة الموجة المعدلة 1w وقدرة الحزمة الجانبية السفلى 40mw، فما نسبة التعديل لهذا التعديل السعوي DSB-TC؟

س22) إذا أعطيت الموجة المعدلة تعديل سعوي DSB-SC بالعلاقة التالية:

$$V(t) = [24 + 12\ \mathrm{Sin}(2\pi * 10^2 t)]\ \mathrm{Sin}\ (2\pi * 10^7 t)$$

فأجب عما يلي:

1. اتساع الموجة الحاملة.
2. اتساع الموجة المحمولة.
3. معامل التعديل m_a ونسبة التعديل %mode
4. الترددات في هذه الموجة.
5. عرض النطاق (BW).
6. إذا كانت مقاومة الدائرة $R = 100\Omega$ فما قيمة القدرة الكلية، قدرة الحامل وقدرة الحزم الجانبية؟

س23) تتبع عملية التعديل العكسي (Demodulation) للإشارة المعدلة في السؤال السابق.

س24) أعد الإجابة على السؤال رقم (18) إذا كانت الإشارة الصوتية:

$$X(t) = 2\cos(628t) + 3\cos(314t)$$

س25) تتبع عملية التعديل العكسي للموجة المعدلة الناتجة من السؤال السابق.

س26) إذا كان تردد الموجة المحمولة 20KHz وتردد الموجة الحاملة الأولى 180KHz وتردد الموجة الحاملة الثانية 12MHz، واستخدمت طريقة التصفية لتوليد الحزمة الجانبية السفلى، فاحسب قيمة الترددات بعد كل جزء من المخطط الصندوقي. ما عرض النطاق للموجة المعدلة SSB الناتجة؟ ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة الناتجة.

س27) تتبع عملية التعديل العكسي للموجة المعدلة الناتجة من السؤال السابق.

س28) أعد الإجابة على السؤالين (26,27) لتوليد الحزمة الجانبية العليا عوضا عن السفلى.

س29) عدلت موجة حاملة ذات العلاقة $Vc(t)= 4\ Cos(2\pi*108t)$ بموجة صوتية لها العلاقة التالية $Vm(t)= 8Cos(2\pi*103t)$ تعديل سعوي SSB بطريقة الصفحة لتوليد الحزمة الجانبية العليا.

فأجب عما يلي:

1. هل يستخدم الطارح أم الجامع في الجزء الأخير من النظام؟
2. ما هي العلاقة النهائية للموجة المعدلة؟
3. احسب عرض النطاق للموجة المعدلة.
4. ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة.
5. احسب قدرة الإشارة المرسلة إذا كانت مقاومة الدائرة تساوي $R=250\Omega$.

س30) أعد الإجابة على السؤال السابق لتوليد الحزمة الجانبية السفلى عوضا عن العليا.

س31) أعد الإجابة على السؤالين (30,29) إذا كانت الإشارة الصوتية المحمولة كما يلي:

$$X(t) = 2\cos(628t) + 3\cos(314t)$$

س32) ارسم المخطط الصندوقي لعملية التعديل العكسي للموجة المعدلة ذات الحزمة الجانبية الواحدة SSB.

هل يصلح المخطط نفسه للحزمة الجانبية العليا والسفلى أم يختلف باختلاف نوع الحزمة؟ لماذا؟

س33) تتبع عملية التعديل العكسي للموجة المعدلة الناتجة في السؤالين (29,30) موضحا بالمعادلات كيفية الحصول على الإشارة المحمولة من المعدلة.

س34) تتبع عملية التعديل العكسي للموجة المعدلة الناتجة في السؤال (31) موضحا بالمعادلات كيفية الحصول على الإشارة المحمولة من المعدلة.

الوحدة الرابعة

التعديل الترددي
Frequency Modulation(FM)

الوحدة الرابعة: التعديل الترددي Frequency Modulation(FM)

1-4 تعريف التعديل الترددي (FM)

التعديل الترددي (FM): هو التغير في تردد الموجة الحاملة Carrier) (Signal ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية لاتساع الموجة المحمولة (Information Signal) مع بقاء اتساع الموجة الحاملة ثابت.

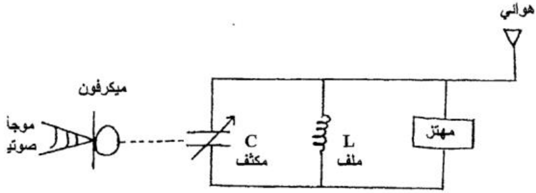
في التعديل السعوي (AM) كان تردد وطور الموجة الحاملة ثابتين، أما في التعديل الترددي (FM) فقط اتساع الموجة الحاملة يبقى ثابتا أما الطور (أو الصفحة) فيتغير بتغير التردد.

وبالتالي يمكن استنتاج تعريف التعديل الطوري Phase Modulation(PM) بأنه التغير في طور (صفحة) الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة ذات التردد المنخفض مع بقاء اتساع الموجة الحاملة ثابت.

أي أن كل من التعديل الترددي والتعديل الطوري يؤثر كل منهما على الآخر، فلا نستطيع الحصول على أحدهما دون الحصول على الثاني بشكل تلقائي. فكلاهما يقودان إلى التعديل الزاوي Angle Modulation، وهو التغير في زاوية الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا للتغير في القيمة اللحظية للإشارة المحمولة ذات التردد المنخفض مع بقاء اتساع الموجة الحاملة ثابت. وبكلمات أخرى، التعديل الزاوي هو الإجراء الذي يتم فيه تحميل إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض على الإشارة الحاملة ذات التردد العالي بحيث تكون الإشارة المحمولة متضمنة في زاوية الإشارة الحاملة ولا تؤثر على

الاتساع، فإذا غيرت التردد يدعى تعديل ترددي (FM)، وإذا غيرت الطور يدعى تعديل طوري (PM).

وللحصول على موجة معدلة تعديل ترددي (FM)، فإننا بحاجة إلى نظام يقوم بتحويل التغير في اتساع الإشارة الداخلة إلى تغير في تردد الإشارة الخارجة (معدلة). ولهذا الغرض نستطيع استعمال الدائرة الموضحة في الشكل التالي:



حيث يتم التحكم بتردد الموجة المولدة من المهتز بواسطة دائرة التحكم المرافقة. دائرة التحكم تتكون، كما هو واضح في الشكل، من ملف ومكثف متغير السعة. وسعة هذا الملف تتغير بتغير اتساع الإشارة الصوتية المتولدة من الميكرفون (شدة الصوت الذي يستقبله الميكرفون). ولدينا هنا ثلاث حالات:

1. في حالة عدم وجود صوت واصل للميكرفون: فان لوحتي المكثف تبقى ثابتة ولا تتذبذب ترددات المهتز وبالتالي يكون تردد الموجة المتولدة مساوي لتردد الموجة الحاملة f_c.
2. في حالة كانت شدة الصوت الواصل للميكرفون أعلى من قيمة مرجعية معينة: فان لوحتي المكثف تهتز تبعا لشدة الصوت مسببة تغير في قيمة المكثف وبالتالي زيادة في تردد الموجة المولدة من

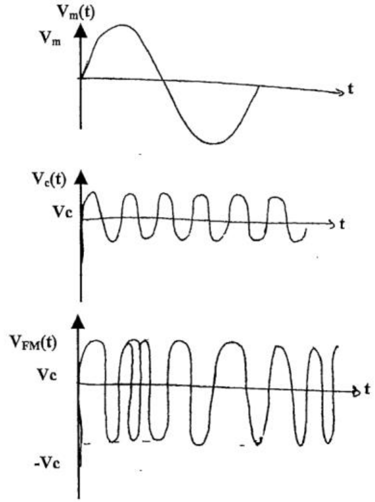
المهتز لقيمة أعلى من تردد الموجة الحاملة، وتزداد هذه القيمة بازدياد شدة الصوت، ويساوي التردد الناتج: $f_c+\Delta f$. حيث Δf تمثل الإزاحة في تردد الموجة المعدلة الناتجة.

3. في حالة كانت شدة الصوت الواصل للميكرفون أقل من قيمة مرجعية معينة: فان لوحتي المكثف تهتز تبعا لشدة الصوت مسببة تغير معاكس للحالة السابقة في قيمة المكثف وبالتالي نقصان في تردد الموجة المولدة من المهتز لقيمة أقل من تردد الموجة الحاملة، وتقل هذه القيمة بنقصان شدة الصوت، ويساوي التردد الناتج: $f_c-\Delta f$. حيث Δf تمثل الإزاحة في تردد الموجة المعدلة الناتجة.

لذلك فان معدل التغير في السعة يساوي الموجة الصوتية الداخلة، ومقدار التغير في السعة يتناسب طردياً مع اتساع هذه الموجة.

ويجب التمييز بين "معدل التغيير" و"مقدار التغيير". فمقدار التغيير يعني قيمة أو كمية التغيير، أما معدل التغيير فيعني مشتقة التغيير نسبة للزمن أو الفرق خلال فترة زمنية معينة.

وفي ما يلي توضيح بالرسم عن كيفية الحصول على الموجة المعدلة تعديل ترددي FM من الموجة المحمولة $V_m(t)$:



فعندما $V= V_m$ فان تردد الموجة المعدلة يساوي تردد الموجة الحاملة f_c . وعندما $V>V_m$ فان تردد الموجة المعدلة أعلى من تردد الموجة الحاملة، وعندما $V<V_m$ فان تردد الموجة المعدلة أقل من تردد الموجة الحاملة.

ولإيجاد علاقة رياضية للموجة المعدلة تعديل ترددي FM نبدأ برسمة الموجة المعدلة في الأعلى، فهي إشارة جيبية ذات اتساع ثابت مساوي لاتساع الموجة الحاملة V_c ولكننا نجهل الصيغة النهائية لزاوية هذه الإشارة ولتكن Ø:

$$V(t) = V_c \, Sin(Ø)$$

المعلومة المتوفرة عن الزاوية ليست مباشرة ولكننا نعلم أن السرعة الزاوية ω "Angle Velocity" هي المشتقة الأولى للزاوية نسبة للزمن، أي أنّ:

$$\omega = \partial\text{Ø}/\partial t$$

$$\text{Ø} = \int\omega\, \partial t$$

ونعلم أن السرعة الزاوية تساوي: $\omega=2\pi f$

والتردد يتغير زيادة ونقصان حول تردد الموجة الحامل ولحد معين يتناسب مع اتساع الموجة المحمولة ويمكن التعبير عن شكل التردد اللحظي بالعلاقة التالية:

$$f(t) = f_c + K_f\, Vm\, \text{Cos}(\omega_m)t$$

$$\omega(t) = \omega_c + 2\pi K_f\, Vm\, \text{Cos}(\omega_m)t$$

حيث:

K_f :ثابت التعديل الترددي ووحدته (Hz/Volt).

$Vm\,\text{Cos}(\omega_m)t$: الإشارة المحمولة.

وباشتقاق العلاقة الأخيرة نحصل على الزاوية:

$$\text{Ø} = \int\omega(t)\, \partial t$$

$$= \int \omega_c + 2\pi\, K_f\, Vm\, \text{Cos}(\omega_m t)\, \partial t$$

$$= \omega_c t + 2\pi\, K_f\, Vm\, \text{Sin}(\omega_m t)\, /\omega_m$$

$$= \omega_c t + K_f\, Vm\, \text{Sin}(\omega_m t)\, /f_m$$

وبما أن إزاحة التردد تساوي: $\Delta f = K_f\, Vm$

$$\text{Ø} = \omega_c t + \Delta f/f_m\, \text{Sin}(\omega_m t)$$

وبتعويض العلاقة الأخيرة في معادلة الموجة المعدلة تعديل ترددي نحصل على العلاقة التالية:

$$V(t) = V_c \, Sin(\omega_c t + \Delta f/f_m \, Sin(\omega_m t))$$

حيث معامل التعديل الترددي m_f يعطى بالعلاقة التالية:

$$m_f = \Delta f/f_m$$

أي أن معامل التعديل الترددي m_f هو نسبة انحراف التردد Δf إلى تردد الموجة المحمولة f_m .

ويمكن إعادة كتابة علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي على النحو التالي:

$$V(t) = V_c \, Sin(\omega_c t + m_f \, Sin(\omega_m t))$$

وهذه العلاقة دليل على أن التعديل الترددي FM لا يتم بشكل منفصل عن التعديل الطوري PM، فكما نلاحظ في العلاقة الأخيرة يمكن تحليلها على أنها ذات تردد ثابت يساوي ω_c وطور تتغير قيمته تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة بمقدار: $m_f \, Sin(\omega_m t)$. الفرق أنه في التعديل الترددي FM يتناسب التغير في زاوية الموجة المعدلة تتناسب مباشرة مع الإشارة المحمولة أما في التعديل الطوري PM فان زاوية الموجة المعدلة تتناسب مع المشتقة الأولى للإشارة المحمولة.

مثال1: إذا كان تردد الموجة المحمولة يساوي 15KHz وانحراف التردد للموجة المعدلة تعديل ترددي FM يساوي 12KHz ، احسب معامل التعديل.

$$m_f = \Delta f/f_m = 12/15 = 0.75$$

مثال2:احسب معامل التعديل للمثال السابق إذا كان انحراف التردد يساوي 20KHz.

$$m_f = \Delta f/f_m = 20/15 = 1.25$$

نلاحظ أنه على خلاف معامل التعديل السعوي فان معامل التعديل الترددي له قيم أكبر من 1.

مثال3: موجة معدلة تعديل ترددي ذات العلاقة القياسية التالية:

$$V(t) = 12\ \mathrm{Sin}(10^8\ t + 2\ \mathrm{Sin}(314t))$$

ما قيمة انحراف التردد لهذه الموجة؟

$$f_m = 314/2*3.14 = 50\ \mathrm{Hz}$$

$$\Delta f = m_f * f_m = 2* 50 = 100\ \mathrm{Hz}$$

4-1-أ اقترانات بيسيل Bessel Functions

معادلة الإشارة المعدلة هي علاقة جيب قيمة جيبية، وهي علاقة معقدة يصعب التعامل معها وتحليلها ويصعب دراسة الطيف الترددي لها. ووجد العالم بيسيل حل لهذه العلاقة وهذا الحل هو علاقات بيسيل أو اقترانات بيسيل Bessel Functions. وهي علاقات متغيرة مع معامل التعديل الترددي m_f وهي ذات درجات ، أي يوجد علاقة بيسيل من الدرجة الأولى يرمز لها $J_1(m_f)$ وعلاقة بيسيل من الدرجة الثانية ويرمز لها $J_2(m_f)$ وعلاقة بيسيل من الدرجة الثالثة ويرمز لها $J_3(m_f)$.......الخ.

فنعبر عن علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي FM بعلاقات بيسيل على النحو التالي:

$$V(t)=V_c\ \{J_0(m_f)\ \mathrm{Sin}(\omega_c t) + J_1(m_f)\ [\mathrm{Sin}(\omega_c+\omega_m)t + \mathrm{Sin}(\omega_c-\omega_m)t]$$
$$+ J_2(m_f)\ [\mathrm{Sin}(\omega_c + 2\omega_m)t + \mathrm{Sin}(\omega_c - 2\omega_m)t]$$

$$+ J_3(m_f)\ [\mathrm{Sin}(\omega_c + 3\omega_m)t + \mathrm{Sin}(\omega_c - 3\omega_m)t]$$

$$+....+....+....\}$$

أو

$$V(t) = V_c\ \{J_0(m_f)\ \mathrm{Sin}(2\pi f_c\, t) + J_1(m_f)\ [\mathrm{Sin}(2\pi(f_c + f_m)t) + \mathrm{Sin}(2\pi\ (f_c - f_m)t)]$$

$$+ J_2(m_f)\ [\mathrm{Sin}(2\pi\ (f_c + 2f_m)t) + \mathrm{Sin}(2\pi\ (f_c - 2f_m)t)]$$

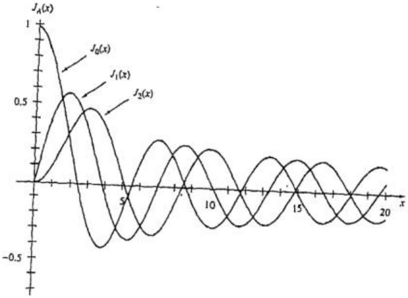
$$+ J_3(m_f)\ [\mathrm{Sin}(2\pi\ (f_c + 3f_m)t) + \mathrm{Sin}(2\pi\ (f_c - 3f_m)t)]$$

$$+....+....+....\}$$

أو يمكن إعادة كتابة علاقة الموجة المعدلة تعديل ترددي على النحو التالي:

$$V(t) = V_c \sum J_n(m_f)\ \mathrm{Sin}(2\pi(f_c \pm nf_m)t)$$

ولأخذ فكرة عن الشكل العام للطيف الترددي لهذه الموجة المعدلة تعديل ترددي FM، فلا بد في البداية من توضيح بعض خصائص علاقات بيسيل المرتبطة بدراستنا. وعلاقات بيسيل تأخذ الشكل التالي:



نلاحظ من الشكل السابق أن:

1. في علاقة بيسيل ذات الدرجة المعينة تقل قيمة الاقتران بازدياد معامل التعديل الترددي m_f، أي أن العلاقة عكسية بين اقتران بيسيل ومعامل التعديل الترددي بتثبيت درجة الاقتران.
2. بتثبيت معامل التعديل m_f ومقارنة الاقترانات ذات الدرجات المختلفة نلاحظ أن قيمة الاقتران ذو الدرجة الأعلى تكون أقل من قيمة الاقتران ذو الدرجة الأقل، أي:

$$J_{n+1}(m_f) < J_n(m_f)$$

3. عندما يساوي mf =0 فان القيمة الوحيدة لاقتران بيسيل هـــي J0(0) =1 وهي أعلى قيمة لاقتران بيسيل، أما باقي اقترانات بيسيل عند نفس قيمة معامل التعديل تساوي 0= Jn≠0(0) .
4. عند قيمة معامل تعديل mf ثابتة فان:

$$J_0^2 + 2\,J_1^2 + 2\,J_2^2 + 2J_3^2 + .. + ... = 1$$

5. إن اقترانات بيسيل تأخذ قيم موجبة أوسالبة. ومعنى القيم السالبة حدوث فرق في الطور بمقدار 180 درجة.

وبالنسبة لعلاقة الموجة المعدلة فان:

J_0: تمثل قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة.

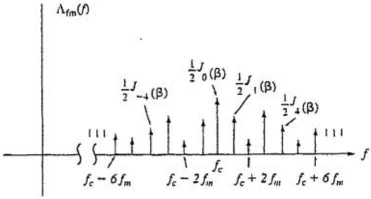
J_1: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الأول.

J_2: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الثاني.

J_3: تمثل قيمة الاتساع النسبي لزوج الحزمتين الثالث وهكذا.

وبالتالي فالاتساع النسبي للحزم الجانبية للموجة المعدلة يقل بازدياد درجة اقتران بيسيل n أو بمعنى آخر بازدياد درجة الحزمة الجانبية. ومن معادلة الموجة المعدلة نلاحظ أن الطيف الترددي يتكون من عدد لا نهائي من الحزم الجانبية ذات الترددات $f_c \pm nf_m$ مثال $f_c + f_m$ ، $f_c + 2f_m$ ، $f_c + 3f_m$ ....الخ. وأن الفاصل بين كل حزمتين يساوي قيمة تردد الموجة المحمولة f_m. وأن تردد الموجة الحاملة يحمل قيمة تساوي $V_c J_0(m_f)$، وشكل الطيف الترددي متناظر حول تردد الموجة الحاملة f_c .

وبالتالي نتوقع شكل الطيف الترددي للموجة المعدلة تعديل ترددي FM على النحو التالي:



وبما أن الاتساع النسبي للحزم الجانبية يقل بازدياد الدرجة فيمكننا بالتقريب إهمال الحزم الجانبية ذات الدرجة الكبيرة والاتساع النسبي القليل.

مثال1: جد قيمة اقترانات بيسيل لمعامل التعديل $m_f = 0.5$.

من شكل اقترانات نبيسيل نجد أن:

$$J_0(0.5) = 0.94, \quad J_1(0.5) = 0.24, \quad J_2(0.5) = 0.03,$$

مثال2: إذا كان لمعامل تعديل ترددي معين القيم التالية:

$J_0 = 0.85, \quad J_1 = 0.3$ فما قيمة J_1 إذا أهملنا اقترانات بيسيل من الدرجة الثالثة.

$$J_0^2 + 2 J_1^2 + 2 J_2^2 = 1$$
$$2 J_2^2 = 1 - 0.8^2 - 2*0.3^2$$
$$J_2^2 = 0.0488$$
$$J_2 = 0.221$$

4-1-ب القدرة Power

حساب قدرة الموجة المعدلة FM يتم على النحو التالي:

$$P = V^2/2R = V_c^2/2R$$

حيث أن قيمة الاتساعات النسبية لا تؤثر على القدرة لأن :

$$J_0^2 + 2 J_1^2 + 2 J_2^2 + 2J_3^2 + .. + ... = 1$$

4-1-ج عرض النطاق (Band Width (BW

عرض نطاق الموجة المعدلة يعتمد على عدد الحزم الجانبية الفعالة ذات الاتساعات النسبية الكبيرة. وعدد هذه الحزم الجانبية يتغير بتغير معامل التعديل الترددي m_f . عرض النطاق يساوي:

$$BW = \#\text{ side bands} * f_m$$
$$= 2 * n * f_m$$

حيث n أعلى درجة لاقترانات بيسيل.

ومدى الترددات للموجة المعدلة FM هوبين $(f_c - \Delta f \text{ ، } \Delta f + f_c)$

نلاحظ أن عرض النطاق للموجة المعدلة تعديل ترددي FM لا يعتمد على تردد الموجة الحاملة f_c، وإنما يعتمد على تردد الموجة المحمولة وعلى معامل التعديل بشكل غير مباشر فبزيادة معامل التعديل يزداد عدد الحزم الجانبية وبالتالي يزداد عرض النطاق.

مثال1: إذا كان تردد الموجة المحمولة $f_m = 20KHz$ ، وانحراف التردد للموجة المعدلة 40KHz، فما عرض النطاق (BW) المطلوب لإرسال الموجة المعدلة FM ؟

$$m_f = \Delta f/f_m = 40/20 = 2$$

ومن الجدول نجد أن عدد الحزم الجانبية لمعامل التردد هذا هو:

$$\# \text{ of side bands} = 2*4 = 8$$

$$BW = \# \text{ side bands} * f_m = 8*20 = 160KHz$$

مثال2: إذا كان عرض نطاق موجة FM يساوي 60KHz وأكبر تردد للموجة المحمولة يساوي 10KHz وكانت قيم علاقات بيسيل لمعامل التعديل لهذه الموجة كالتالي:

$J_o = 0.8$، $J_1 = 0.3$ ، $J_2 = 0.25$. ما هي قيمة الاتساع النسبي لكل زوج من أزواج الحزم الجانبية؟

ما قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة؟

$$BW = 2 * n * f_m$$

$$n = 60/2*10 = 3$$

$$J_0^2 + 2J_1^2 + 2J_2^2 + 2J_3^2 = 1$$

$$J_3^2 = 1 - 0.8^2 - 2*0.25^2 - 2*0.3^2 = 0.0275$$

$$J_3 = 0.166$$

الاتساع القياسي للموجة المعدلة: $J_0 = 0.8$

الاتساع النسبي للحزم الجانبية تساوي: $J_3= 0.166$, $J_1 = 0.3$ ،
$J_2 = 0.25$

مثال3: محطة FM تبث موجات صوتية ذات مدى ترددي (100Hz - 20KHz) فما مدى معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة، مع العلم أن أقصى انحراف تردد لمحطة FM هو75KHz .

$$m_{f1} = \Delta f/f_{m1} = 75000/100 = 750$$

$$m_{f2} = \Delta f/f_{m21} = 75/20 = 3.75$$

وبالتالي فان مدى التعديل الترددي هو: (750 - 3.75)

2-4 التعديل الترددى ذوالنطاق الضيق NBFM والتعديل الترددى ذوالنطاق الواسع WBFM

المقصود بالتعديل الترددي ذو النطاق الضيق (Narrow Band Frequency Modulation) التعديل الترددي في حالة معامل التعديل الصغير (m_f<<1) ففي هذه الحالة يكون عدد الحزم الجانبية للموجة المعدلة قليل وبالتالي نحصل على عرض نطاق صغير(ضيق)، وبالتالي هذه حالة مشابهة للتعديل السعوي AM . مثال ذلك إذا كان معامل التعديل m_f=0.1 أو m_f=0.25 لدينا في هذه الحالة زوج واحد فقط من الحزم الجانبية. ويستخدم هذا النوع من التعديل الترددي مع أنظمة الاتصالات التي تتعامل مع الموجات الصوتية ذات الترددات المنخفضة التي لا تتعدى 3KHz وبالتالي فان مدى عرض النطاق لهذا النوع هو(10KHz-30KHz). من الأمثلة على هذه الأنظمة اتصالات الشرطة والملاحة الجوية والخدمات المتعلقة بالمناخ وغير ذلك.

من جهة أخرى يوجد التعديل الترددي ذو النطاق الواسع (Wide Band Frequency Modulation) على العكس من النوع الأول حيث أن

عرض نطاق الموجة المعدلة واسع وذلك عائد إلى معامل التعديل الكبير نسبيا حيث $m_f >> 1$ وبالتالي عدد الحزم الجانبية كبير مما يؤدي إلى عرض نطاق كبير أيضا.

ويستعمل هذا النوع مع أنظمة الاتصالات التي تتعامل مع إشارات صوتية ذات ترددات عالية نسبيا. كمحطات الإذاعة الصوتية وغيرها. ومن الجدير بالذكر أنه بزيادة معامل التعديل الترددي m_f أكثر من 10 يصبح تأثيره بسيط على زيادة عرض النطاق (BW).

ويحسب عرض النطاق للموجة المعدلة WBFM وفقا للقانون التالي:

$$BW = 2 * n * f_m$$
$$= \#\text{side bands} * f_m$$

3-4 قانون كارسون Carson's Rule

وضع العالم كارسون قاعدة لحساب عرض النطاق (BW) للموجة المعدلة تعديل ترددي FM بشكل تقريبي في كل من الحالتين:

1. NBFM : عندما تكون قيمة معامل التعديل أقل بكثير من 1 فان قيمة اقترانات بيسيل $J_n(m_f)$ من الدرجة الثانية وما فوق ليس لها قيمة فعالة، ويمكن اعتبار أن الموجة المعدلة تحتوي ثلاثة مكونات: الموجة الحاملة f_c والحزمة الجانبية العليا f_c+f_m والحزمة الجانبية السفلى f_c-f_m ، وبالتالي يمكن حساب عرض النطاق كما في التعديل السعوي AM:

$$BW = 2 * f_m$$

2. WBFM : عندما يكون معامل التعديل أكبر من واحد فان قيمة اقترانات بيسيل $J_n(m_f)$ تتناقص بشكل أسي الى الصفر. فان عرض النطاق يمكن حسابه تقريبا بالقاعدة التالية:

$$BW = 2f_m\,(\Delta f/f_m + 1) = 2f_m(m_f+1) = 2(\Delta f + f_m)$$

عندما تكون قيمة معامل التعديل أكبر بكثير من 1 بالتقريب يصبح عرض النطاق:

$$BW = 2*f_m*m_f = 2*\Delta f$$

وهذه الحسابات التقريبية لعرض النطاق تشمل 96% من القدرة الكلية للإشارة المرسلة المعدلة تعديل FM.

مثال1: إذا كان تردد الموجة المحمولة f_m=10KHz وانحراف التردد في الموجة المعدلة FM يساويΔf=20KHz ،احسب عرض النطاق BW للموجة المرسلة.

$$BW=2(\Delta f + f_m)=2(20 + 10) =60KHz$$

مثال2: : إذا كان تردد الموجة المحمولة f_m=10KHz وانحراف التردد في الموجة المعدلة FM يساويΔf=200KHz ،احسب عرض النطاق BW للموجة المرسلة.

$$BW=2(\Delta f + f_m)=2(200 + 10) = 420KHz$$

أو بالتقريب (حيث معامل التعديل يساوي $m_f = 200/10 = 20$ وهي قيمة >>1) يمكن حساب عرض النطاق بقاعدة كارسون:

$$BW = 2*f_m*m_f= 2*\Delta f = 2*200 = 400\ KHz$$

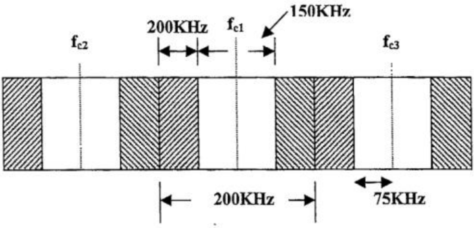
فنلاحظ أن الفرق بسيط بين القيمة الحقيقية والقيمة الفعلية لعرض النطاق وبنسبة خطأ بسيطة تساوي:

$$Error = (420 - 400)/(420) * 100\% = 4.8\%$$

4-4 أنظمة البث FM

إن عرض الحزمة النموذجي لبث موجة معدلة FM هو200KHz وبانحراف تردد لا يتجاوز 75KHz حول تردد الموجة الحاملة لتلك الموجة f_c، ويخصص 50KHz من كل موجة للحماية بين الموجات المتجاورة (25KHz للجانب الأعلى و25KHz للجنب الأسفل) وتسمى الحزم الحارسة (Guard Band).

ويمكن توضيح ذلك بالشكل التالي لثلاث محطات FM متجاورة:



في حالة كان لدينا انحراف تردد 75KHz فان نسبة التعديل الترددي يساوي 100% على الرغم من تغير قيمة معامل التعديل m_f بوجود هذه النسبة بتغير تردد الموجة المحمولة تبعا للعلاقة ($m_f = \Delta f/f_m$).

وبذلك نلاحظ اختلاً فين أساسيين بين موجة AM وموجة FM، حيث عرض حزمة موجة AM يساوي فقط 10KHz، أي أن عرض الحزمة لموجة واحدة FM يكفي لبث 20 موجة AM.

كما أن نسبة التعديل 100% لموجة AM تعني أن معامل التعديل يساوي $m_a=1$ بغض النظر عن تردد الموجة المحمولة f_m.

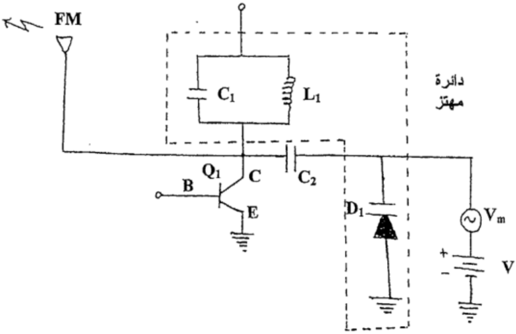
4-5 المعدلات والمعدلات العكسية للتعديل الترددي

FM Modulators and Demodulators of

4-5-1 المعدلات Modulators

يوجد طريقتين لعملية التعديل الترددي (مباشرة وغير مباشرة). بالنسبة للطريقة المباشرة تتم باستخدام أداة ذات خصائص غير خطية مثل الترانزيستور أو الوصلة الثنائية (Diode)، حيث تتغير مقدار لفة عبر دائرة التوليف للمهتز (Oscillator). وتستعمل دائرة خاصة لهذا الغرض باستعمال سعة متغيرة بواسطة الوصلة الثنائية الفراكتور (Varactor Diode).

يشكل من الملف (Coil L1) والمكثف (Capacitor C1) دائرة توليف المهتز. أما وصلة الفراكتور D1 فتعطينا سعة متغيرة بتغير الفولتية المطبقة عليها، فعندما $V_m=0$ فالفولتية المطبقة على الوصلة هي الثابتة فقط وبالتالية التردد المتولد هو تردد الموجة الحاملة f_c . وعندما $V_m>0$ فان التولد المتولد من المهتز يكون أكبر من تردد الموجة الحاملة وبمقدار يتناسب مع الفولتية، وعلى العكس عندما $V_m<0$ فان التولد المتولد من المهتز يكون أقل من تردد الموجة الحاملة وبمقدار يتناسب مع الفولتية أيضا.



أما الطريقة غير المباشرة هي باستخدام التعديل الطوري (Phase Modulation) باستخدام جهاز المهتز المتحكم بالفولتية (Voltage Control Oscillator)VCO.

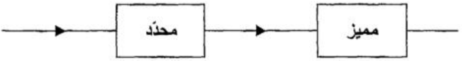
2-5-4 المعدلات العكسية Demodulator

الغرض من المعدلات العكسية استخلاص الإشارة المحمولة من الإشارة المعدلة FM .أي أننا نحتاج هذا إلى دائرة تحول التغير في التردد إلى تغير مقابل في الفولتية وتسمى هذه الدائرة "المميز" (Discriminator) والتي تتكون أساسا من دائرة إيجاد ميل (Derivation) الإشارة المعدلة ومن ثم الكشف عن هذا الميل الذي يشكل الإشارة المحمولة (Envelope Detector).

ولكن الإشارة المعدلة FM تتعرض التذبذب في الاتساع أثناء عملية الإرسال، ويجب التخلص أولا من هذه التذبذبات قبل إدخال الإشارة المعدلة إلى المميز. والدائرة المسؤولة عن ذلك تدعى "المحدد" (Limiter)

وأهم الدوائر المستخدمة لهذا الغرض هي دائرة Foster-Sealy الذي يعطي علاقة أكثر خطية ولكن يجب أن يسبق بمحدد اتساع، وكاشف النسبة Ratio-Detector التي تتكون من الكاشف والمحدد.

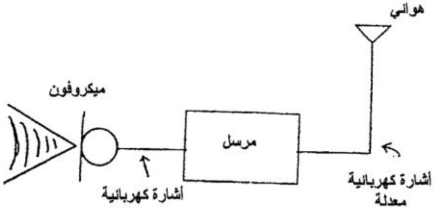
ويمكن رسم المخطط الصندوقي للمعدل العكسي للتعديل الترددي FM على النحو التالي:



4-6 المرسلات Transmitters

المرسلات كما تعرفنا عليها في بداية الكتاب هي مجموعة الدوائر المسؤولة عن عمليات تهيئة الإشارة المرسلة لإرسال جيد يضمن وصول الإشارة إلى المستقبل في أفضل حال. ومن أهم عمليا التهيئة هي عملية التعديل. كذلك من العمليات الضرورية عميلة التكبير (والتي يمكن أن تأتي على مراحل مختلفة وليس مرحلة واحدة فقط) لضمان زيادة قدرة الإشارة المرسلة وبالتالي استلام إشارة ذات قدرة جيدة. بالإضافة إلى مراحل أخرى ضرورية مثل محولات الطاقة الفيزيائية (صوت أو صورة أو غير ذلك) إلى إشارة كهربائية ذات التردد المنخفض (أي الإشارة المحمولة) وتأتي هذه المرحلة في بداية عملية الإرسال. كذلك مرحلة تحويل الإشارة الكهربائية المعدلة (ذات التردد العالي) إلى موجة كهرومغناطيسية وإرسالها في الفراغ، وهذه وظيفة الهوائي في المرسل (والتي تختلف عن وظيفة هوائي المستقبل).

والمخطط الصندوقي التالي يوضح أهم أجزاء (مراحل) المرسلات:



ويبقى العامل الأساسي للتمييز بين المرسلات المختلفة هو نوع التعديل (وأكثرها شيوعا للموجات الصوتية التعديل السعوي والتعديل الترددي). وبالتالي سنتداول في دراستنا هذان النوعين من المرسلات.

4-6-1 مرسلات التعديل السعوي AM

المخطط الصندوقي التالي يوضح مراحل الإرسال في مرسلات التعديل السعوي والتي نلاحظ اشتراكها في أكثر المراحل مع المخطط الصندوقي العام للمرسلات:

حيث وظيفة المهتز الكريستالي توليد الموجة الحاملة ذات الترددات العالية (المقاسة بـــ MHz). أما مكبر قدرة الموجة الحاملة ذات (Radio Frequency) فهو يزيد اتساع الموجة مما يؤدي إلى زيادة القدرة بينما مكبر AF فيقوم بنفس المهمة ولكن مع الموجة الصوتية ذات التردد المنخفض (Audio Frequency).

ووظيفة المعدل تحميل الموجة الصوتية على الموجة الحاملة بأي من أنواع التعديل السعوي (إرسال الحزمتين مع الحامل، إرسال الحزمتين بدون

حامل، أو إرسال الحزمة الجانبية الواحدة)، وبالتالي نتوقع أنظمة مختلفة من حيث نوع التعديل السعوي المستخدم.

وكل محطة إرسال AM يخصص لها عمليا نطاق بعرض 10KHz.

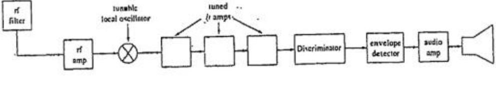
4-6-2 مرسلات التعديل الترددي FM

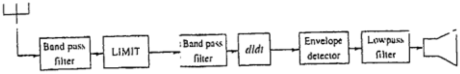
لا يختلف المخطط الصندوقي لمرسل FM عن مرسل AM بشكل أساسي إلا من حيث نوع المعدل المستخدم.ومن الناحية العملية يخصص لكل قناة FM نطاق بعرض 200KHz، فنجد أن القنوات الصوتية ذات ترددات 101.1MHz، 101.3MHz، 101.5MHz وهكذا. والترددات الحاملة العملية تتراوح قيمها بين (88MHz-108MHz). مثال ذلك قناة القرآن الكريم (عمان) على تردد 93.1MHz.

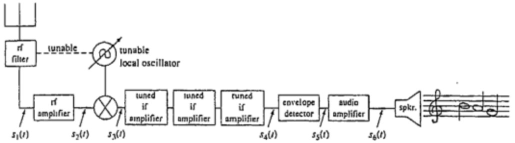
4-7 المستقبلات Receiver

إن المستقبلات هي المسؤولة عن التقاط الإشارة الكهرومغناطيسية (بواسطة هوائي المستقبل) وتحويلها ثانية إلى إشارة كهربائية (التي لازالت معدلة ذات تردد عالي) وإجراء عملية التعديل العكسي (بما يتناسب مع نوع التعديل المستخدم مسبقا في المرسل).

والمخطط الصندوقي للمستقبلة AM وFM موضح بالشكلين التاليين:

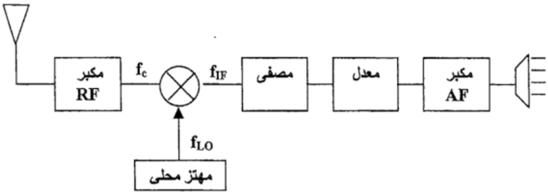






8-4 نظام الاستقبال السوبر هيتروديني Super Heterodyne Receiver

المخطط الصندوقي لهذا النظام موضح في الشكل التالي:



يختلف هذا النظام عن المستقبل السابق بتحويل الموجة المعدلة ذات التردد fc إلى تردد آخر ثابت متوسط القيمة fIF ، حيث لا يعير المهتز المحلي في هذه الحالة لاعطاء التردد الحامل التردد الذي ينتج لنا تردد الموجة المتوسطة والذي يستوي 455KHz:

$$f_{LO} - f_c = \pm f_{IF}$$

والفائدة الأساسية من نظام Super Heterodyne أن التعامل مع موجة ذات تردد متوسط من حيث التكبير والتعديل والترشيح (بغض النظر عن تردد الموجة الحاملة) يكون أفضل.

مثال1: إذا كان تردد الموجة الحاملة يساوي 1MHz فكم يساوي تردد المهتز المحلي للحصول على الموجة المتوسطة التردد؟

$$f_{LO} = f_c \pm f_{IF}$$

$$= 1000 \pm 455 = 545 \text{ KHz}$$

$$\text{OR } 1455\text{KHz}$$

أسئلة آخر الفصل

س1) هل نستطيع تحليل الطيف الترددي للموجة المعدلة FM بدون استخدام اقترانات بيسيل؟

س2) : إذا كان لمعامل تعديل ترددي معين القيم التالية:

$J0 = 0.7$, $J2 = 0.3$ فما قيمة J1 إذا أهملنا اقترانات بيسيل من الدرجة الثالثة.

س3) جد قيمة اقترانات بيسيل لمعامل التعديل $mf = 0.8, mf=2, mf=5$ من رسم اقترانات بيسيل.

س4) جد التردد اللحظي للإشارة المعدلة ترددياً FM التالية:

$$S(t) = 10\ Cos(2\pi(1000t + Sin(10\pi t)))$$

س5) جد التردد اللحظي للإشارة المعدلة ترددياً FM التالية:

$$S(t) = 10[\ Cos(10t)\ Cos(30t2) - Sin(10t)\ Sin(30t2)]$$

س6) احسب انحراف التردد Δf لكل من الإشارات المحمولة التالية، إذا كانت قيمة ثابت التعديل الترددي $Kf= 10Hz/V$ وقيمة التردد الحامل $fc=5KHz$

1. $V(t) = 10\ Cos(10\pi t)$
2. $V(t) = 5\ Cos(20\pi t)$
3. $V(t) = 100\ Cos(2000\pi t)$

س7) احسب مدى الترددات التي تحجزها الموجة المعدلة FM ، إذا كان تردد الموجة الحاملة $fc=2MHz$ وقيمة $Kf=100Hz/V$، والإشارة المحمولة ذات العلاقة التالية:

$$V(t) = 100\ Cos(2\pi * 150t) + 200\ Cos(2\pi * 300t)$$

س8) احسب عرض النطاق(BW) التقريبي لكل إشارة في السؤال الثالث. ومدى الترددات للإشارة المعدلة.

س9) إشارة حاملة ذات التردد fc=10MHz عدّلت بإشارة صوتية ذات تردد fm=5KHz، بحيث أن أقصى إزاحة للتردد في الموجة المعدلة FM يساوي 500KHz. احسب كل من عرض النطاق (BW) بالتقريب ومدى ترددات الموجة المعدلة FM.

س10) إشارة حاملة ذات التردد fc=100MHz عدّلت بإشارة صوتية ذات اتساع Vm=1volt وتردد fm=10KHz، وقيمة Kf=100Hz/V .
احسب كل مما يلي للموجة المعدلة FM:

1. انحراف التردد Δf،
2. معامل التعديل الترددي mf.
3. عرض النطاق BW الحقيقي والتقريبي.
4. مدى الترددات .

س11) أعد الإجابة على السؤال السابق إذا أعطيت الموجة المعدلة تعديل ترددي بالعلاقة التالية:

$$V(t) = 10\ Sin(2*107\ \pi t + 20\ Cos(1000\pi t))$$

س12) إذا كانت مقاومة الدائرة R=250Ω، فما قيمة القدرة للإشارة المرسلة في السؤال السابق.

س13) إشارة حاملة ذات التردد fc=100MHz عدّلت بإشارة صوتية ذات تردد fm=75KHz، وانحراف التردد للموجة المعدلة Δf=500KHz .

احسب كل مما يلي للموجة المعدلة FM:

1. ثابت التعديل الترددي Kf
2. عرض النطاق التقريبي BW والحقيقي.
3. اتساع الموجة المحمولة Vm
4. العلاقة الرياضية للموجة المعدلة FM، إذا كان اتساع الموجة الحاملة Vc=2 volts
5. إذا كانت مقاومة الدائرة R=100Ω، فما قيمة القدرة للإشارة المرسلة.

س14) للموجة المعدلة تعديل زاوي التالية:

$$V(t) = 50\ \text{Sin}(2*106\ \pi t + 0.001\ \text{Sin}(2\pi *500t))$$

1. جد قيمة : fc ,fm, mf , Vc , Vm , Δf , Kf إذا كان التعديل المستخدم FM.
2. هل هذه الموجة المعدلة ذات نطاق ضيق NB أم ذات نطاق واسع WB ؟
3. جد عرض النطاق التقريبي للموجة المعدلة.
4. جد عرض النطاق الحقيقي ونسبة الخطأ في حسابه.
5. ما هي الإشارة المحمولة إذا كان التعديل :FM أوPM.
6. ارسم الطيف الترددي للموجة المعدلة إذا كان التعديل ترددي FM.

س15) للموجة المعدلة تعديل ترددي التالية:

$V(t) = V(t) = 10 \, Sin(2*109 \, \pi t + 200 \, Sin(2\pi *200t))$

1. جد قيمة : fc ,fm, mf , Vc , Vm , Δf , Kf
2. هل هذه الموجة المعدلة ذات نطاق ضيق NBFM أم ذات نطاق واسع WBFM ؟
3. جد عرض النطاق التقريبي للموجة المعدلة.
4. جد عرض النطاق الحقيقي ونسبة الخطأ في حسابه.
5. ما هي الإشارة المحمولة.
6. احسب مقاومة الدائرة إذا كانت القدرة للإشارة المرسلة تساوي 5mw

س16) إذا كان عرض نطاق موجة FM يساوي 120KHz وأكبر تردد للموجة المحمولة يساوي 15KHz كانت قيم علاقات بيسيل لمعامل التعديل لهذه الموجة كالتالي:

Jo =0.9، J1 = 0.25، J2 = 0.15. ما هي قيمة الاتساع النسبي لكل زوج من أزواج الحزم الجانبية؟

ما قيمة الاتساع القياسي للموجة المعدلة؟

س17) محطة FM تبث موجات صوتية ذات مدى ترددي (50Hz - 18KHz) فما مدى معامل التعديل المسموح به لهذه المحطة؟

س18) على أساس أن موجة NBFM مشابهة للموجة المعدلة تعديل سعوي DSB-TC، فما الصيغة التقريبية في هذه الحالة للعلاقة الرياضية للموجة المعدلة تعديل ترددي ذو نطاق ضيق NBFM :

$$V(t) = Vc\ Sin(\omega ct + mf\ Sin(\omega mt))$$

س19) إذا كانت محطة القرآن الكريم تبث على تردد 93.3MHz فما أقل تردد حامل للموجة التي تسبق أو تلي هذه المحطة؟ (لا يشترط أن تكون محطة تبث عمليا)

س20) إذا كانت نسبة التعديل 100% ، فمت العلاقة بين تردد الموجة المحمولة ومعامل التعديل لكل من التعديل السعوي والتعديل الترددي؟

س21) ما عرض حزمة الترددات الفعالة لمحطة بث FM؟ (أي عند إهمال الجزء المخصص للحماية).

س22) تتبع بالمعادلات الرياضية خطوات التعديل العكسي لموجة معدلة ترددياً FM.

س23) ما وظيفة كل من المحدد والمميز؟

س24) جد طريقة لتوليد موجة معدلة تعديل ترددي NBFM ومن ثم استخدام الموجة الناتجة لتوليد الموجة المعدلة تعديل ترددي WBFM، أو بمعنى آخر إيجاد طريقة غير مباشرة لتوليد موجة معدلة ترددياً ذات عرض نطاق واسع WBFM. (بالرجوع لبعض المراجع الخارجية).

الوحدة الخامسة

التعديل النبضي
Pulse Modulation

الوحدة الخامسة: التعديل النبضي Pulse Modulation

5-1 النظرية العينية Sampling Theorem

إن أهم نظرية في علم الاتصالات هي النظرية العينية. وتنص هذه النظرية على التالي:

" الإشارة المحددة النطاق (*Bandlimited*) بتردد أقصاه f_m ، يمكن التعبير عنها بشكل كامل من خلال أخذ عينات (Samples) لها بمعدل تنظيم ثابت f_s أكبر من أو يساوي $2f_m$ ، أو بكلمات أخرى أن الفترة الزمنية بين العينات ذات قيمة ثابتة لا تزيد عن $T_m/2$ "

ويمكن التعبير عن النظرية العينية بكلمات أخرى على النحو التالي:

" بالإمكان الاستعاضة عن إرسال الموجة بالكامل بإرسال عينات منها تؤخذ على فترات زمنية ثابتة لا تتجاوز $T_m/2$ أو معدل أخذ عينات أكبر من أو يساوي $2f_m$ ، حيث f_m هو أعلى تردد في الإشارة. ويستطيع المستقبل استرجاع الإشارة المرسلة بشكل تام من العينات المرسلة"

حيث: T_m : هو الفترة الزمنية التي تعيد الإشارة فيها نفسها (Period) وتساوي $T_m=1/f_m$.

ويسمى التردد $2f_m$ تردد أو معدل نايكويست (Nyquist Rate).

مثال1: إذا كان أعلى تردد في موجة صوتية يساوي 10KHz، فما قيمة معدل تنظيم أخذ العينات لها؟

$$f_s \geq 2f_m$$
$$f_s \geq 20\ \text{KHz}$$

مثال2: إذا كان معدل أخذ عينات إشارة جيبية fs= 10KHz ، فما الفترة الزمنية الفاصلة بين كل عينتين؟

$$T_s = 1/f_s = 1/10K = 0.1msec$$

مثال3: احسب قيمة تردد نايكويست والزمن الفاصل بين العينات للموجة الصوتية التالية:

$$Y(t) = 2\cos(628t) + 3\cos(314t)$$

تحتوي الموجة ترددين:

$$f_{m1} = 628/2*3.14 = 100 \text{ Hz}$$

$$f_{m2} = 314/2*3.14 = 50 \text{ Hz}$$

معدل أخذ العينات يحسب اعتمادا على قيمة أعلى تردد في الإشارة، وبالتالي:

$$f_s = 2f_m = 2*100 = 200 \text{ Hz}$$

$$T_s = 1/f_s = 1/200 = 5msec$$

مثال4: إذا أخذت عينات من موجة صوتية بمعدل تنظيم f_s=32KHz وكان هذا المعدل ضعف تردد نايكويست، فما قيمة أعلى تردد في هذه الموجة الصوتية؟

$$f_s = 2(2f_m) = 32$$

$$f_m = 6KHz$$

2-5 مبدأ التعديل النبضي Principle of Pulse Modulation

فكرة التعديل النبضي (Pulse Modulation) تختلف عن التعديل القياسي (مثل AM وFM) بعدم تحميل إشارة المعلومات كاملة على الإشارة الحاملة، وإنما يتم في التعديل النبضي أولا أخذ عينات من إشارة المعلومات

المحمولة وفقا للنظرية العينية (Sampling Theorem) ثم يتم تشفيرها أو تحميلها مباشرة على الإشارة الحاملة ذات التردد العالي (مبدأ التعديل).

ويتم أخذ العينات (النبضات) على فترات زمنية قصيرة (short duration)، مما يسمح بإرسال أكثر من إشارة واحدة على نفس القناة (الإرسال متعدد القنوات الجزئية للوقت Time Division Multiplexing) وسيتم التطرق لهذا الموضوع بالتفصيل خلال هذه الوحدة لأهميته.

5-3 أنواع التعديل النبضي

كما التعديل القياسي له أنواع فإن التعديل النبضي أيضا له أنواع. من أنواع التعديل النبضي القياسي(Analog Pulse Modulation):

1. تعديل اتساع النبضة (PAM) Pulse Amplitude Modulation.
2. تعديل عرض النبضة (PWM) Pulse Width Modulation.
3. تعديل مكان النبضة (PPM) Pulse Phase Modulation.

ومن أنواع التعديل النبضي الرقمي (Digital Pulse Modulation) :

4. تعديل رمز النبضة (PCM) Pulse Code Modulation.
5. تعديل الفرق (DM) Delta Modulation.

5-3-1 تعديل اتساع النبضة PAM

المقصود بتعديل اتساع النبضة (PAM) التغير في اتساع النبضة تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة مع بقاء عرض ومكان النبضة ثابتين. (راجع الشكل 5-2)

ويمكن الحصول على موجة (PAM) من خلال أخذ العينات للإشارة المحمولة بواسطة دائرة تسمى (Sample and Hold Circuit) وفقا للنظرية العينية (Sampling Theorem).(راجع الدائرة 5-1)

5-3-2 تعديل عرض النبضة PWM

المقصود بتعديل عرض النبضة (PWM) التغير في عرض النبضة تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة مع بقاء اتساع ومكان النبضة ثابتين. (راجع الشكل 5-2)

كخطوة أولى للحصول على موجة (PWM) يتم الحصول على موجة (PAM) ومن ثم جمعها مع إشارة أسنان المنشار (Saw Tooth Signal) ومن ثم إدخال الإشارة التي نحصل عليها إلى دائرة مقارن (Comparator) لمقارنتها بفولتية مرجعية V_{ref} بحيث:

1. إذا كانت قيمة فولتية الإشارة المجمعة أكبر من الفولتية المرجعية فناتج المقارن فولتية ثابتة.
2. إذا كانت قيمة فولتية الإشارة المجمعة أصغر من الفولتية المرجعية فناتج المقارن صفر.

وبذلك نحصل على إشارة (PWM) عند مخرج المقارن(.(راجع الدائرة 5-1)

5-3-3 تعديل مكان النبضة PPM

المقصود بتعديل مكان النبضة (PPM) التغير في مكان النبضة تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة مع بقاء اتساع وعرض النبضة ثابتين. (راجع الشكل 5-2)

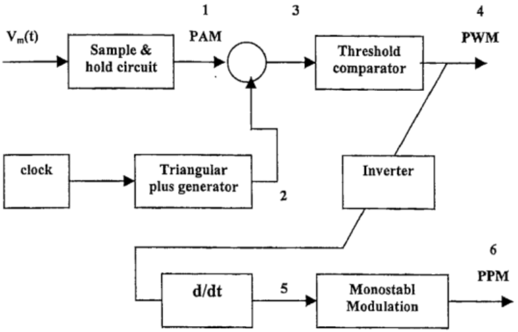
وللحصول على إشارة PPM لابد من توليد إشارة PWM أولا بالطريقة المذكورة سابقا، ثم ندخل إشارة PWM إلى عاكس (Inverter) الذي يقوم بعكس قطبية النبضات. وبعد ذلك تدخل إلى مفاضل (Differentiator) والذي يعمل على النحو التالي:

1. ناتج اشتقاق الفولتية (القيمة) الثابتة يساوي صفر، كما أن مشتقة الصفر تساوي صفر.
2. الحواف التي تشكل نقطة التحول من قيمة إلى أخرى قيمة اشتقاقها غير معرفة وتظهر على هيئة وميض ذو قطبية موجبة للحافة العليا ووميض ذو قطبية سالبة للحافة السفلى.

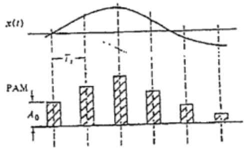
وأخيرا إدخال الإشارة الأخيرة إلى قادح شميت (Schmitt Trigger) والذي وظيفته توليد نبضة ذات اتساع وعرض ثابتين عند ظهور وميض موجب القطبية على مدخل القادح. وبذلك نكون قد حصلنا على إشارة ذات اتساع وعرض ثابتين ولكن مكان يتغير تبعا للقيمة اللحظية للموجة المحمولة (PPM).

ومن الجدير بالذكر أن تعديل مكان النبضة PPM فيه توفير للقدرة عن تعديل عرض النبضة PWM.

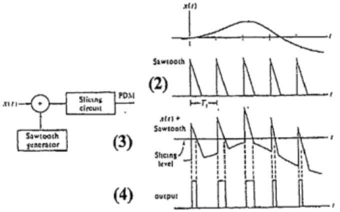
وفي ما يلي شكل الدائرة الكاملة التي تولد الأنواع الثلاث (PAM, PWM, PPM) حيث نلاحظ كيف أن توليد الثانية يعتمد على الإشارة الأولى وأن توليد الإشارة الثالثة يعتمد على الثانية:

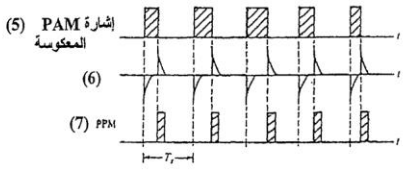


وشكل الموجات عند النقاط المختلفة لهذه الدائرة موضح في الأشكال التالية:



(1)
PAM
إشارة

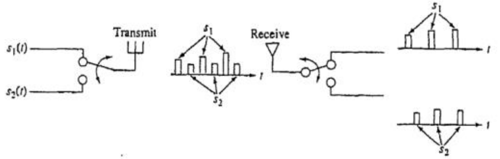




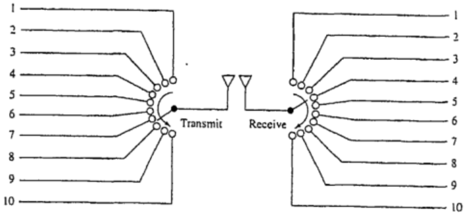
الإرسال المتعدد القنوات الجزئية للوقت

Time Division Multiplexing (TDM-PAM)

ذكرنا سابقا أن تعديل PAM يتضمن أخذ عينات من الإشارة المحمولة وفقا للنظرية العينية دون الحاجة إلى إرسال الإشارة كاملة، وبذلك نوفر فترات زمنية شاغرة بين تلك العينات. ويمكن استغلال تلك الفترات الزمنية غير المشغولة لإرسال عينات من إشارة (أو إشارات أخرى). وهذا هو المقصود بالإرسال متعدد القنوات الجزئية للوقت(TDM-PAM). كمثال بسيط للتوضيح نفرض إرسال إشارتين فقط على نفس القناة بأسلوب (TDM-PAM) بالشكل التالي:



وفي ما يلي مثال آخر أكثر واقعية وتكامل على نظام (TDM-PAM) حيث نرسل ونستقبل 8 قنوات موضحة في الشكل التالي:



يتم أخذ العينات لكل قناة من القنوات الثمانية وفقا للنظرية العينية (Sampling Theorem) بتردد f_s أكبر من أو يساوي $2f_m$ بواسطة آلة دوارة تقوم بأخذ العينات بالتناوب لتلك القنوات، ومن ثم تحميلها على إشارة حاملة ذات تردد عالي (أي إجراء أي من أنواع التعديل التي تطرقنا لها سابقا مثل FM)، وبثها بواسطة الهوائي (Antenna) الذي يحولها من إشارة كهربائية إلى إشارة كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ وتصل إلى هوائي المستقبل الذي يعيد تحويل الموجات الكهرومغناطيسية إلى موجات كهربائية معدلة والتي بتعديلها عكسيا نحصل على العينات التي سبق وأرسلناها. ومن خلال استعمال دوارة كتلك المستخدمة في المرسلة يتم فصل عينات كل قناة عن البقية، وشرط نجاح ذلك أن تعمل دوارة المرسلة ودوارة المستقبلة بالسرعة ذاتها وبتزامن (Synchronization) لكي لا يحدث تداخل في الإشارات.

4-3-5 تعديل رمز النبضة Pulse Code Modulation (PCM)

إن تعديل رمز النبضة هو أساس تعديل النبضة الرقمي والذي يتكون من مراحل تشمل بالترتيب:

1. أولا أخذ عينات الإشارة المحمولة وفقا للنظرية العينية (بمعدل تنظيم $2f_m \leq f_S$).
2. تصنيف كل عينة في مستوى معين من مستويات منفصلة تسمى مستويات مكممة "L" أو مستويات التكميم (Quantizing Levels) تبعا لفولتية العينة.
3. تشفير العينة برمز الشيفرة وما يماثلها في النظام الثنائي وفقا لما يقابل مستوى التكميم المعني.

وهناك علاقة بين عدد النبضات الرقمية لتمثيل العينة n وبين عدد مستويات التكميم L، وهي:

$$L = 2^n$$

وقيمة القفزة بين مستويي تكميم Δv (الدرجة الكمية) له علاقة بعدد المستوياتL وأقصى اتساع الإشارة المحمولة V_m على النحو التالي:

$$\Delta v = 2 * V_m / L$$

مثال1: إذا كان التشفير الثنائي لإشارة PCM متكون من 5 مراتب (خانات)، فما عدد مستويات التكميم؟

$$L = 2^n = 2^5 = 32 \text{ levels}$$

مثال2: تتبع الخطوات الضرورية للحصول على إشارة PCM من الإشارة المحمولة التالية:

$$X(t) = 4 \sin(2\pi * 100t)$$

مثال2: تتبع الخطوات الضرورية للحصول على إشارة PCM من الإشارة المحمولة التالية:

$$X(t) = 4\ \text{Sin}(2\pi * 100t)$$

بتشفير ثنائي مكون من 3 خانات، وأخذ العينات بتردد يساوي 10 أضعاف تردد الإشارة المحمولة f_m.

الحل:

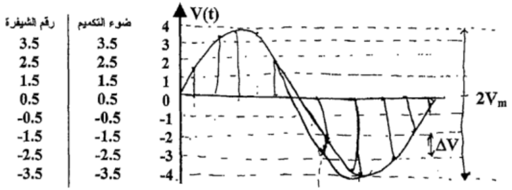
معدل تنظيم العينات يساوي: $f_s = 10f_m = 10*100 = 1000Hz = 1KHz$

وبالتالي سيأخذ عشرة عينات لكل دورة واحدة للإشارة المحمولة.

وعدد مستويات التكميم يساوي: $L = 2^n = 2^3 = 8$ Levels

وبالتالي الدرجة الكمية تساوي: $\Delta v = 2 * V_m / L = 2*4/8 = 1v$

وبالتالي نستطيع أخذ العينات وتكميمها وتشفيرها على النحو التالي:



رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7	9	4	10
قيمة فولطية للعينة	1.1	3.1	3.8	3.5	1.4	-2.9	-4	-3	-2	-0.9
قيمة التكميم للعينة	1.5	3.5	3.5	3.5	1.5	-2.5	-3.5	-2.5	-1.5	-0.5
رقم الشيفرة (رمز)	5	7	7	7	5	1	0	1	2	3
التشفير الثنائي	101	111	111	111	101	001	000	001	010	011

ففي المثال السابق تكون قيمة أكبر خطأ كمي = $\Delta v/2$ = ½ فولت

وبالتالي يتراوح الخطأ الكمي بين (0.5- , 0.5) فولت.

وبما أن العلاقة بن الدرجة الكمية وعدد مستويات التكميم علاقة عكسية والعلاقة بين أكبر خطأ كمي والدرجة الكمية علاقة طردية، إذن زيادة عدد المستويات يؤدي إلى تقليل الخطأ الكمي.

من ناحية أخرى فان زيادة عدد المستويات يؤدي إلى زيادة عدد الخانات الثنائية وبالتالي يزداد عرض النطاق للإرسال وفقا للعلاقة التالية:

$$BW_{PCM} = BW * n$$

مثال1: أعد حساب أكبر خطأ كمي للمثال السابق إذا رفعنا عدد المستويات المكممة إلى 16 مستوى.

وبالتالي الدرجة الكمية تساوي: $\Delta v = 2 * V_m / L = 2*4/16 = 1/2v$

قيمة أكبر خطأ كمي = $\Delta v/2$ = 0.5/2 = 1/4 فولت.

مثال2: إذا كان عرض نطاق إشارة قبل تشفيرها إلى النظام الثنائي يساوي 12 KHz ، فكم يساوي عرض النطاق بعد تشفير الإشارة بخمسة خانات رقمية؟

$$BW_{PCM} = BW * n = 12*5 = 60\ KHz$$

مثال3: إذا ترتفع عرض نطاق إشارة مرسلة إلى ستة أضعاف، فكم عدد الخانات الرقمية المستخدمة؟

$$BW_{PCM} / BW = n = 6$$

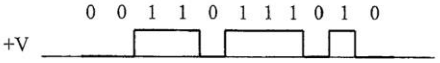
التشفير Encoding

التشفير هو تمثيل المستويات المكممة برموز خاصة مثل النظام الثنائي المتكون من (0,1) فقط والذي يمكن التعبير عنهما بنبضة كهربائية خاصة لكل رمز منهما.

ويوجد طرق عديدة لتمثيل البيانات الثنائية(0,1) بنبضات كهربائية:

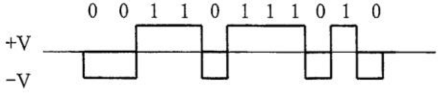
1. إشارة العمل والتوقف On-Off Signal

وبها يتم تمثيل 1 بنبضة (فولتية ثابتة موجبة) وتمثيل 0 بلا نبضة. ومثال على ذلك تمثيل سلسلة البيانات الرقمية التالية بإشارة العمل والتوقف:



2. إشارة القطبية الثنائية Bipolar Signal

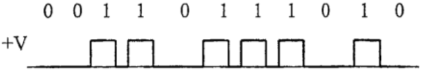
وبها يتم تمثيل 1 بنبضة موجبة القطبية وتمثيل 0 بنبضة سالبة القطبية، ومثال على ذلك تمثيل سلسلة البيانات الرقمية التالية بإشارة القطبية الثنائية:



3. إشارة العودة إلى الصفر Return to Zero Signal (RZ)

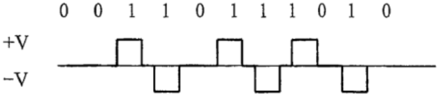
وهي مشابهة لإشارة العمل والتوقف بفرق أن 1 يمثل بنصف نبضة وليس نبضة كاملة (أي الفترة الزمنية التي يشغلها 1 هي $T_b/2$، حيث T_b هي

فترة إرسال النبضة كاملة)، ومثال على ذلك تمثيل سلسلة البيانات الرقمية التالية بإشارة العودة إلى الصفر (RZ):



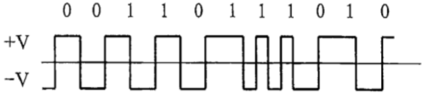
4. إشارة التناوب Alternation Signal

تمثيل 0 دائما بلا نبضة وتمثيل 1 بنصف بنبضة موجبة ثم نصف نبضة سالبة بالتناوب. ومثال على ذلك تمثيل سلسلة البيانات الرقمية التالية بإشارة التناوب:



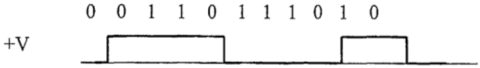
5. إشارة مانشستر Manchester Signal

يتم تمثيل 1 بنصف نبضة موجبة ونصف نبضة سالبة على التوالي، ويتم تمثيل 0 بنصف نبضة سالبة ونصف نبضة موجبة على التوالي. . ومثال على ذلك تمثيل سلسلة البيانات الرقمية التالية بإشارة مانشستر:



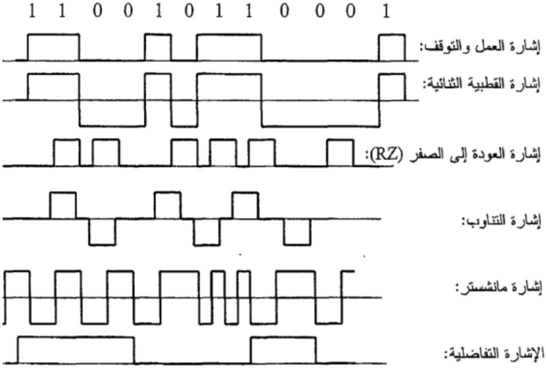
6. الإشارة التفاضلية Differential Signal

ليس للـ 1 أو 0 تمثيل محدد، وإنما تقنية العمل تتلخص بحدوث انتقال النبضة (من لا نبضة إلى نبضة أومن نبضة إلى لا نبضة) عند 0، وعدم حدوث أي تغيير عند 1. ومثال على ذلك تمثيل سلسلة البيانات الرقمية التالية بالإشارة التفاضلية:



وإن في استخدام أي طريقة من هذه الطرق ميزات خاصة به سواء من ناحية القدرة أو عرض النطاق أو إمكانية الكشف عن حدوث خطأ في البيانات المرسلة أو الدائرة التي تنتج الإشارة على النحو المطلوب أو غير ذلك.

مثال: مثل البيانات الرقمية التالية بالأساليب المذكورة أعلاه:



ميزات التعديل النبضي المرمز PCM

إن لتعديل PCM عدد من النواحي السيئة والحسنة. ومن الميزات الجيدة له:

1. توافر المعلومات في هيئة مشفرة يمكننا من إعادة بناء الإشارة في محطات تقوية توضع بين المرسل والمستقبل، وبالتالي فهو مناسب للإرسال للمسافات الطويلة.
2. دوائر الكشف والتعديل هي دوائر رقمية ذات فعالية عالية ومتوفرة على هيئة دوائر متكاملة Integrated Circuits (IC) ، وبالتالية تكون التكلفة قليلة.
3. إمكانية تخزين الشارة لوقت معين.
4. إمكانية استخدام شيفرة مناسبة للتقليل من التكرار غير الضروري للبيانات.
5. إمكانية استخدام شيفرة مناسبة للتقليل من تأثير الضجيج والتداخل.

سيئات التعديل النبضي المرمز PCM

1. نظام معقد التركيب لتكونه من مراحل متعددة كثيرة مثل أخذ العينات والتكميم والتشفير وغيره.
2. عرض الحزمة للإرسال واسع (كبير)، بسبب تشفير المعلومات إلى عدد من الخانات الثنائية.

2. عرض الحزمة للإرسال واسع (كبير)، بسبب تشفير المعلومات إلى عدد من الخانات الثنائية.

تعديل الفرق Delta Modulation (DM)

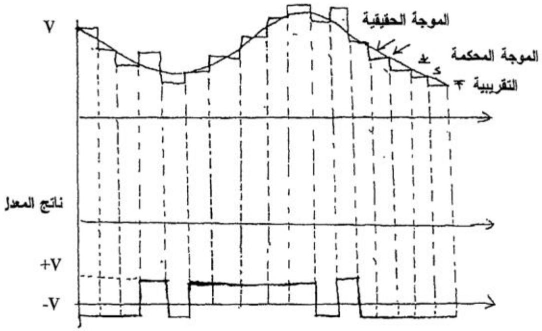
يتكون تعديل الفرق من عدة مراحل متتالية هي على الترتيب:

1. تجزئة موجة المعلومات المحمولة وفقا للنظرية العينية وإعطاء قيم تقريبية لها.
2. يحسب الفرق بين القيمة الحقيقية والقيمة التقريبية للعينات نصنف النتيجة إلى صنفين:

أ. إذا كانت القيمة الحقيقية أكبر من القيمة التقريبية يرمز لها بنبضة موجبة $\delta +$

ب. إذا كانت القيمة الحقيقية أصغر من القيمة التقريبية يرمز لها بنبضة سالبة $\delta-$

والمثال التوضيحي التالي يبين تقنية عمل هذا التعديل، حيث يبين الشكل الأول الإشارة المحمولة والقيم التقريبي للعينات والشكل الثاني يبين الاستنتاج من مقارنة القيمة الحقيقية والتقريبية حيث الناتج يكون إحدى قيمتين ، الموجبة والسالبة.



V
الموجة الحقيقية
الموجة المحكمة
التقريبية
ناتج المعدل
+V
-V

أسئلة آخر الفصل

س1) بكلماتك الخاصة، اشرح النظرية العينية.

س2) إذا كان أعلى تردد في موجة صوتية يساوي 15KHz، فما قيمة معدل تنظيم أخذ العينات لها؟

س3) احسب قيمة تردد نايكويست والزمن الفاصل بين العينات للموجة الصوتية التالية:

$$Y(t) = 4\sin(1000t) + 3\cos(10000t)$$

س4) ما الزمن الفاصل بين عينة وأخرى للعينات المأخوذة في السؤال السابق؟

س5) إذا أخذت عينات من موجة صوتية بمعدل تنظيم fs=120KHz وكان هذا المعدل ثلاث أضعاف تردد نايكويست، فما قيمة أعلى تردد في هذه الموجة الصوتية؟

س6) ما الفرق الأساسي بين التعديل النبضي والتعديل القياسي؟

س7) ما وظيفة كلٍ من دائرة أخذ العينات، مقارن العتبة، المفاضل، وقادح شميت ؟

س8) كي نعدل على دائرة الحصول على PPM إذا لم نستخدم العاكس Inverter ؟

س9) تتبع الحصول على إشارة PPM من إشارة PWM التالية من خلال مرورها أولا على مفاضل ثم على قادح شميت.

س10) ما تأثير عدم اختيار قيمة فولتية مرجعية Vref مناسبة؟

س11) ما المقصود بالتزامن Synchronization وما أهميته بين مرسل ومستقبل TDM-PAM؟

س12) إذا كان تردد أحد القنوات لنظام TDM-PAM ضعف تردد باقي القنوات، فكيف يتم التعامل بين الدوارة وهذه القناة؟

س13) استنتج عرض نطاق القناة التي تنقل الإشارة الناتجة بعد دوارة المستقبل في نظام TDM-PAM.

س14) إذا كان التشفير الثنائي لإشارة PCM متكون من 8 مراتب (خانات)، فما عدد مستويات التكميم؟

س15) إذا كان مستويات التكميم L= 128 فكم عدد الخانات الثنائية المستخدمة للتشفير الرقمي للعينات؟

س16) تتبع الخطوات الضرورية للحصول على إشارة PCM من الإشارة المحمولة التالية:

$$X(t) = 12\ \mathrm{Sin}(2\pi * 2000t)$$

بتشفير ثنائي مكون من 4 خانات، وأخذ العينات بتردد يساوي 8 أضعاف تردد الإشارة المحمولة f_m.احسب المسافة الزمنية بين العينات. خذ العينة الأولى عند t=0 sec.

س17) أعد الإجابة على السؤال السابق للإشارة المحمولة التالية:

$$V(t) = 10\ \mathrm{Cos}(2\pi * 150t) + 20\ \mathrm{Sin}(2\pi * 300t)$$

س18) ما أكبر خطأ كمي ممكن حدوثه في السؤال (16)؟

س19) كم يصبح مقدار الخطأ الكمي الممكن حدوثه في السؤال (16) إذا كان التشفير بـــ 5 خانات رقمية؟

س20) ما نسبة الزيادة في عرض النطاق في السؤال (16) إذا كان التشفير بـــ 5 خانات رقمية؟

س21) قم بتشفير المعلومات الرقمية التالية وفقا لإشارات التشفير الستة المدروسة:

0101001100011100110101

س22) ما العلاقة المتوقعة بين قدرة إشارة العمل والتوقف وإشارة العودة الى الصفر؟

س23) ما العلاقة المتوقعة بين عرض نطاق إشارة العمل والتوقف وإشارة مانشستر؟

س24) ما سبب التكلفة القليلة لاستخدام PCM؟

س25) لماذا يعد نظام PCM نظام معقد التركيب؟ لماذا يعد نظام PCM نظام ذو نطاق واسع؟

س26) جد الإشارة المعدلة DM من الإشارة المحمولة التالية:

س27) ما تردد المهتز المحلي لمستقبل Super Hytrodyne الذي يحقق لنا الحصول على موجة ذات التردد المتوسط إذا كان تردد الموجة الحاملة 2MHz ؟

س28) إذا كان تردد المهتز المحلي لمستقبل Super Hytrodyne يساوي 1.5MHz، فما قيمة التردد الحامل للموجة في هذه الحالة؟

الوحدة السادسة

مبادئ التعديل الرقمي
Principles of Digital Modulation

الوحدة السادسة: مبادئ التعديل الرقمي

Principles of Digital Modulation

5-1 التعديل الرقمي Digital Modulation

مفهوم التعديل الرقمي لا يختلف عن التعديل القياسي من حيث تحميل الإشارة المحمولة ذات التردد المنخفض على الإشارة الحاملة ذات التردد العالي، ولكن للتعديل الرقمي هذه الإشارة المحمولة تكون إشارة رقمية ذات قيمتين فقط (0,1). أما الإشارة الحاملة ذات التردد العالي فهي غالبا إشارة جيبية ذات تردد وطور محددين واتساع أكبر من اتساع الإشارة المحمولة.

ويميز التعديل الرقمي بأنه إزاحة لاتساع أو تردد أو طور الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا لقيمة الإشارة الرقمية المحمولة ذات التردد المنخفض والمحددة بقيمتين فقط (0,1).

5-2 أنواع التعديل الرقمي

كما أن التعديل القياسي ذو أنواع عدة، فان التعديل الرقمي له أنواع أيضا وهي:

1. الإزاحة السعوية Amplitude Shift Keying (ASK).
2. الإزاحة الترددية Frequency Shift Keying (FSK).
3. الإزاحة الطورية Phase Shift Keying (PSK).
4. مزيج أو هجين (Hybrid) من الاتساع والتردد والطور، وغالبا يكون المزج بين اثنين منهم فقط.

إن الأنواع الثلاثة الأوائل ما هي إلا حالة خاصة من التعديل السعوي يتم من خلالها تحميل الإشارة الرقمية الثنائية القيم التي تم الحصول عليها من تعديل رمز النبضة PCM على موجة حاملة ذات تردد عالي.

5-2-1 الإزاحة السعوية (ASK)

عندما يعدل اتساع موجة حاملة بموجة رقمية ثنائية القيم فانه سينتقل بين مستويين من الفولتية. سنتداول في دراستنا نوعين من الإزاحة السعوية هما للموجة المعدلة بإشارة العمل والتوقف (On-Off ASK)، والثاني للموجة المعدلة بإشارة ثنائية القطبية (بدون حامل Suppressed Carrier ASK).

والعلاقة العامة للموجة المعدلة ASK تأخذ شكل العلاقة الرياضية التالية:

$$V(t) = A_1 \cos(\omega_c t) \qquad \text{عند } 1$$

$$A_2 \cos(\omega_c t) \qquad \text{عند } 0$$

حيث A_1 هو اتساع الموجة المعدلة عندما تكون المعلومة المنقولة هي 1، وA_2 هو اتساع الموجة المعجلة عندما تكون الموجة المنقولة هي 0.

الإزاحة السعوية ON-OFF ASK:

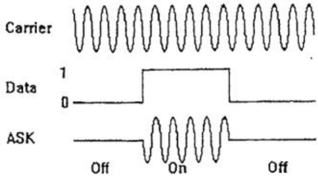
الإزاحة السعوية تعطينا صيغة واضحة للتعديل باستخدام الإشارات الرقمية. الإشارة المعدلة تنتقل (Switched) بين مستويين من الاتساع، وفي هذه الحالة يمكن التعبير عن الموجة المعدلة بالعلاقة التالية:

$$V(t) = A \cos(\omega_c t) \qquad \text{عند } 1$$

$$0 \qquad \text{عند } 0$$

وهذه حالة خاصة من الإزاحة السعوية يكون فيها اتساع الموجة المعدلة ذوقيمة محددة A عند إرسال 1، ولا تأخذ أي قيمة عند إرسال 0.

وتكون الإشارة المرسلة متقطعة كما هوموضح في الشكل التالي:



ومن الواضح أن التشفير المستخدم هومن نوع إشارة العمل والتوقف، وأن الموجة المعدلة ناتجة من ضرب هذه الإشارة بالاشارة الحاملة ذات التردد العالي الثابت (أي نستخدم ضارب لتوليد الموجة المعدلة ON-OFF ASK).

والتعديل العكسي للإشارة ON-OFF ASK يتم في المستقبلة بدائرة كاشف الاشارة (Diode Detector)،

وتتكون هذه الدائرة أساسا من مقوم (Rectifier) ومصفى تمرير حزمة ترددات منخفضة LPF. حيث يقوم المقوم بالتخلص من الجزء السالب من الإشارة المعدلة ويقوم المصفى بالتخلص من الترددات العالية في الإشارة، فنحصل على المعلومة الرقمية التي تم إرسالها سابقا.

<u>الإزاحة السعوية Suppressed Carrier ASK</u>

عند التعامل مع إشارة مشفرة بإشارة ثنائية القطبية، تصبح العلاقة الرياضية التي تعبر عن الموجة المعدلة ASK في هذه الحالة على النحو التالي:

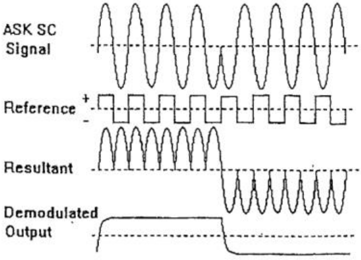
$V(t) = A\cos(\omega_c t)$ عند 1

$- A\cos(\omega_c t)$ عند 0

وهذا يعني أن الموجة الناتجة سوف يتغير طورها باستمرار تبعا لتغير البيانات الرقمية المرسلة. وتكون الموجة المعدلة الناتجة هنا مستمرة (غير متقطعة كما في ON-OFF ASK).

ويمكن اعتبار هذا النوع من الإزاحة السعوية أنها إزاحة طورية لتغير الطور بتغير البيانات الرقمية.

إن التعديل العكسي لهذا النوع يتم بضرب الموجة المعدلة بإشارة مربعة (Square Signal) لها نفس تردد الإشارة الحاملة، ثم تمرير الموجة الناتجة على مصفى تمرير الحزمة المنخفضة LPF فتنتج إشارة ذات تردد منخفض كتلك التي تم إرسالها. والشكل التالي يوضح خطوات عمل المعدل العكسي:



ويمكن إثبات صحة عمل المعدل العكسي هذا بالمعادلات الرياضية على النحو التالي:

يعبر عن الموجة المعدلة بالعلاقة الرياضية التالية:

$$V(t) = \begin{cases} A\cos(\omega_c t) & \text{during the +1 priod} \\ A\cos(\omega_c t+180°) & \text{during the -1 priod} \end{cases}$$

وبعد ضربها بإشارة دورية ذات التردد المساوي لتردد الموجة الحاملة يصبح الناتج:

$$V(t) = \begin{cases} A\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c t) & \text{during the +1 priod} \\ A\cos(\omega_c t+180°)\cos(\omega_c t) & \text{during the -1 priod} \end{cases}$$

وتبسط العلاقة الأخيرة تبعا لقانون ضرب الإقترانات الجيبية لتصبح:

$$V(t) = \begin{cases} 0.5\,A[\cos(2\omega_c t) + \cos(0)] & \text{during the +1 priod} \\ 0.5A[\cos(2\omega_c t+180°) + \cos(180°)] & \text{during the -1 priod} \end{cases}$$

وبعد مصفى LPF نتخلص من الإشارة ذات التردد العالي($2\omega_c$) ونحصل على الموجة الرقمية المحمولة ذات التردد المنخفض المشفرة بتمثيل إشارة ثنائية القطبية.

$$V(t) = \begin{cases} 0.5\,A\cos(0)= 0.5A & \text{during the +1 priod} \\ 0.5A\cos(180°)= -0.5A & \text{during the -1 priod} \end{cases}$$

5-2-2 الإزاحة الترددية FSK

إن الإزاحة الترددية هي حالة خاصة من التعديل الترددي، حيث يتغير تردد الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا لقيمة المعلومات الثنائية المرسلة. وبالتالي توجد صيغتين فقط لكتابة الموجة المعدلة FSK وهي:

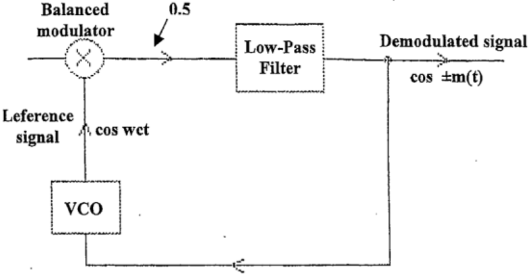
$V(t) = A\cos(\omega_{c1}t)$ عند 1

$A\cos(\omega_{c2}t)$ عند 0

أي المعلومة الرقمية 0 تعطي موجة معدلة ذات تردد معين بينما تعطي المعلومة الرقمية 0 موجة معدلة ذات تردد آخر ولكن الاتساع نفسه لكلاهما.

نحصل على الموجة المعدلة FSK بواسطة مهتز متحكم بالفولتية Voltage Control Oscillator(VCO)، حيث يعتمد تردد الموجة الناتجة على فولتية الموجة الداخلة إلى المهتز، وبما أن المعلومات الداخلة للمهتز رقمية ذات قيمتين سنحصل من المهتز على إشارتين بترددين مختلفين.

وفي المستقبل يتم استرجاع البيانات الرقمية المرسلة بواسطة النظام المبين بالمخطط الصندوقي التالي:



إن VCO مصمم ليعطي تردد مساوي تقريبا لتردد الموجة الحاملة ω_c في حالة لم يكن من إشارة داخلة للمهتز VCO، ولكن عندما تكون إشارة FSK المعدلة التالية هي الإشارة الداخلة للنظام :

$$V(t) = A\cos(\omega_c +/- m)t$$

فناتج المعدل تكون:

$$V(t) = A\cos(\omega_c +/- m)t\cos(\omega_c t)$$
$$= 0.5A[\cos(2\omega_c +/- m)t + \cos(+/- mt)]$$

وبعد مصفى تمرير الحزمة المنخفضة تبقى الإشارة ذات التردد المنخفض فقط:

$$V(t) = \begin{cases} 0.5A\cos(mt) \\ -0.5A\cos(mt) \end{cases}$$

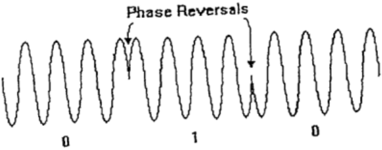
وهي إشارة بتردد بسيط تعبر عن المعلومات الرقمية المرسلة (0,1). وتدخل الإشارة الناتجة الى VCO لتكرر العملية مرة أخرى مع الموجة المعدلة الأخرى باستمرار. بمعنى آخر نحتاج الى مصفيين مولفين بترددين مختلفين لاسترجاع الموجة الرقمية المحمولة، أحدهما مولف على تردد w+m والآخر مولف على تردد w-m، بالاضافة الى الكاشف أوالمميز.

3-2-5 الإزاحة الطورية PSK

إن الإزاحة الطورية هي حالة خاصة من التعديل الطوري، حيث يتغير طور الموجة الحاملة ذات التردد العالي تبعا لقيمة المعلومات الثنائية المرسلة. وبالتالي توجد صيغتين فقط لكتابة الموجة المعدلة PSK وهي:

$$V(t) = A\cos(\omega_c t + \theta_1) \qquad \text{عند } 1$$
$$A\cos(\omega_c t + \theta_2) \qquad \text{عند } 0$$

والشكل التالي يبين شكل الاشارة:



أي المعلومة الرقمية 0 تعطي موجة معدلة ذات تردد معين بينما تعطي المعلومة الرقمية 0 موجة معدلة ذات تردد آخر ولكن الاتساع والتردد نفسه لكلاهما. ففي هذا النوع من التعديل يتغير الطور للموجة المعدلة بين طورين (أو أكثر في حالة الأطوار المتعددة) وغالبا ما تكون قيمة الطورين 180° و0° وبالتالي تصبح العلاقة أعلاه على النحو التالي:

$V(t) = A\cos(\omega_c t + 180^\circ)$ عند 1

$A\cos(\omega_c t)$ عند 0

من خصائص التعديل من نوع الإزاحة الطورية:

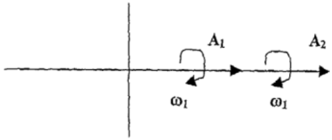
1. للموجة محتوى ثابت ولا يتأثر اتساعها بالضجيج أو التغيرات الخطية الأخرى ولذلك فهي أكثر استخدام من الإزاحة السعوية.
2. يستعمل هذا التعديل في أنظمة الاتصالات ذات السرعة المتوسطة 4800 بت/الثانية.
3. التوفير في القدرة، حيث أن القدرة اللازمة لهذا النوع تساوي نصف القدرة اللازمة لأنظمة الإزاحة الأخرى للحصول على نفس معدل خطأ للجزء.

المخطط المتجهي

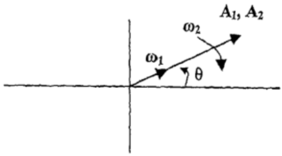
يمكن تمثيل الموجة المعدلة بموجة رقمية$(1,0)$ بمخطط يسمى المخطط المتجهي. حيث نعبر عن كل حالة بمتجه ذو قيمة (اتساع) وزاوية (طور) وسرعة زاوية (تردد).

فيكون المخطط المتجهي لموجة الإزاحة السعوية عبارة عن متجهين ذو تردد وطور واحد ولكن باتساعين مختلفين. ويكون المخطط المتجهي لموجة الإزاحة الترددية ممثل بمتجهين متساويين بالاتساع والزاوية ومختلفين بالسرعة الزاوية (التي تتناسب مع التردد). وأخيرا المخطط المتجهي لموجة الإزاحة الطورية يمثل بمتجهين متساويين في الاتساع والسرعة الزاوية ومختلفين في الزاوية (متعاكسين إذا كان الطورين المستخدمين هما $(180,0)$

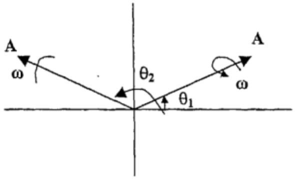
مثال1: ارسم المخطط المتجهي لموجة الإزاحة السعوية:



مثال2: ارسم المخطط المتجهي لموجة الإزاحة الترددية:



مثال3: ارسم المخطط المتجهي لموجة الإزاحة الطورية:



مستويات الإزاحة الطورية (M-Ary PSK

إذا كانت كلمة ((Binary تعني مستويين مختلفين أو حالتين مختلفتين، فان المقصود من مصطلح((M-Aray وجود عدة مستويات مختلفة أو حالات مختلفة. وبذلك فإن المقصود بمصطلح (M-Aray PSK) تطبيق مفهوم الإزاحة الطورية ولكن على عدة مستويات وليس مستويين اثنين فقط. بمعنى آخر لن يتم تعديل الإشارة الحاملة بإشارة المعلومات الرقمية نبضة فنبضة ((bit by bit، وإنما تعدل الإشارة الحاملة بناء على عدد معين من النبضات ويعطى مستوى معين أو طور معين خاص بكل تركيبة من هذه النبضات.

ويستخدم الرمز M-Aray مع الإزاحة الطورية متعددة المستويات لتوضيح عدد الأطوار (المستويات)، فمثلا Aray PSK 8 تعني استخدام 8 أطوار مختلفة في التعديل ، و((16Aray PSK تعني استخدام 16طور مختلف للتعديل، وهكذا.

إن العلاقة بين عدد الأجزاء الرقمية المجمعة (النبضات) (N) وعدد الاشتراكات الممكنة من هذه الأجزاء (M) هي على النحو التالي:

$$M = \text{Ln } M_2N = \text{Log}$$

OR

$$M = 2^N$$

مثال1: ما عدد الاشتراكات الممكنة من 10 نبضات؟

$$M = 2^N = 2^{10} = 1024$$

مثال2: ما عدد الأجزاء الرقمية التي تعطينا 8 اشتراكات مختلفة؟ ما هي هذه الاشتراكات؟

$$M = \text{Ln } M = \text{Ln}(8) = 3 \text{ Bits}_2N = \text{Log}$$

الاشتراكات هي:(000، 001، 010، 011، 100، 101، 110، 111)

تصبح الصيغة العامة للموجة المعدلة M-Aray PSK على النحو التالي:

$$V_c \cos(wt + \theta_i) = V_i(t)$$

حيث θ_i هي الطور الناظر للاشتراك الواحد، وبذلك فعندما نستعمل طورين اثنين فقط (180,0) كان لدينا جزء رقمي واحد للتمثيل (1,0). أما إذا كان عدد المستويات (عدد الأطوار) يساوي M فان عدد الأجزاء الرقمية يساوي N حسب القاعدة أعلاه.

مثال على ذلك 4 Aray PSK فيه عدد الأطوار تساوي عدد المستويات =4 وبالتالين فان عدد الأجزاء الرقمية يساوي:

$$M = \text{Ln } M = \text{Ln}(4) = 2$$

والاشتراكات الناتجة من جزأين رقميين تساوي 4 وهي (00,01,10,11) ولكل من هذه الأجزاء الطور الخاص بها في عملية التعديل بالشكل التالي:

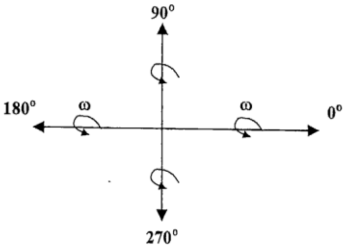
$0 \rightarrow 00$

$90 \rightarrow 01$

$180 \rightarrow 10$

$270 \rightarrow 11$

إن المخطط المتجهي لنظام M Aray PSK يشابه نظيره في PSK من حيث ثبات الاتساع والتردد، ولكن نستعمل هنا M من الأطوار لتمثيل الأجزاء الرقمية جميعا. مثال ذلك المخطط المتجهي لنظام 4Aray PSK المذكور في المثال السابق الموضح في الشكل التالي:



إن الفائدة الرئيسية التي تحقق من استخدام نظام M-Aray PSK هو التوفير في عرض النطاق BW المطلوب للإرسال والتي تأتي على حساب تعقيد دائرة التعديل والتعديل العكسي. إن عرض النطاق لإرسال إشارة M-Aray PSK يحسب من عرض نطاق الموجة المرسلة PSK ذات الطورين فقط على النحو التالي:

$$BW / N = BW_M$$

حيث N هو عدد الأجزاء الرقمية.

مثال : إذا كان عرض النطاق لموجة PSK يساوي 160KHz فكم يصبح عرض النطاق إذا استخدمنا نظام 16Aray PSK مع نفس الموجة؟

$$M = Ln\ M = Ln(16) = 4_2 N = Log$$

$$BW / N = 160/4 = 40KHz = BW_M$$

نلاحظ كيف انخفض عرض النطاق المطلوب إلى الربع باستخدام نظام 16-Aray PSK.

4-2-5 الهجين أو المزيج

يمكن المزج بين أنواع الإزاحة (بين نوعين معا غالبا)، فتصبح العلاقة التي تعطي الموجة المعدلة :

$$V_i(t) = A_i \cos(2\pi f_{ci}\, t + \theta_i)$$

فيمكن إعطاء كل من (1,0) إشارة خاصة لها اتساعها وترددها وطورها.

مثال1:يمكن استخدام مزيج من الإزاحة السعوية والترددية بحيث:

$$V_0(t) = 10 \cos(1000t)$$

$$V_1(t) = 15 \cos(2000t)$$

مثال2: يمكن استخدام مزيج من الإزاحة الطورية والترددية بحيث:

$$V_0(t) = 10 \cos(1000t + 180°)$$

$$V_1(t) = 10 \cos(2000t)$$

أسئلة آخر الفصل

س1) ميز نوع الإزاحة في كل مما يلي:

1. $V_0(t) = 10\cos(1000t)$

$V_1(t) = 15\cos(1000t)$

2. $V_0(t) = 10\cos(1000t)$

$V_1(t) = 10\cos(2000t)$

3. $V_0(t) = 10\cos(1000t)$

$V_1(t) = 10\sin(1000t)$

4. $V_0(t) = 10\cos(1000t)$

$V_1(t) = 15\sin(1000t)$

5. $V_0(t) = 10\cos(1000t)$

$V_1(t) = 15\sin(2000t)$

6. $V_0(t) = 10\cos(1000t + 60)$

$V_1(t) = 10\cos(1000t)$

7. $V_0(t) = 10\cos(1000t)$

$V_1(t) = 15\cos(2000t)$

8. $V_0(t) = 10\cos(1000t + 90)$

$V_1(t) = 10\cos(1000t - 90)$

9. $V_0(t) = 10\cos(1000t + 45)$

$V_1(t) = 15\cos(1000t + 45)$

10. $V_0(t) = 10\cos(1000t + 45)$

$V_1(t) = 15\sin(2000t + 45)$

س2) ارسم الموجات المعدلة تبعا للعلاقات في السؤال الأول للبيانات الرقمية التالية:

0011011011

س3) كم عدد الأجزاء الرقمية التي تعطي اشتراكات تساوي 128؟

س4) ما هي الاشتراكات التي نحصل عليها من 4 أجزاء رقمية؟

س5) ارسم المخطط المتجهي لكل من العلاقات في السؤال الأول.

س6) إذا كان عرض النطاق لموجة PSK يساوي 320KHz فكم يصبح عرض النطاق إذا استخدمنا نظام 16Aray PSK مع نفس الموجة؟

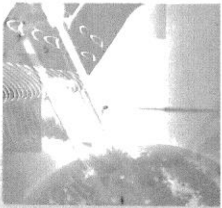
س7) إذا كان عرض النطاق لموجة PSK يساوي 320KHz فكم يصبح عرض النطاق إذا استخدمنا نظام 32Aray PSK مع نفس الموجة؟

س8) أعد الإجابة على السؤال الثاني باستخدام نظام 4-Aray PSK.

1. دوسية مبادئ الاتصالات .تأليف وفيق توفيق حسن

2. Analog and Digital Communication Systems, Martin S. Roden.

3. Digital Communication Manual. M. Eng Maryam Akhu Azheya.



مبادىء الإتصالات

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

الأردن-عمان -وسط البلد- ش. السلط - مجمع الفحيص التجاري- تلفاكس: 2739 463 6 962+
خلوي 5651920 79 962+ ص.ب 4244 الرمز البريدي 11121 جبل الحسين الشرقي